

Концептуальные модели технических систем с управляемыми состояниями: обзор и анализ¹

Аннотация. Моделирование процессов управляемого функционирования технических систем (ТС) связано с необходимостью решения проблем инженерии знаний. Упростить их решение можно за счет использования моделей-прототипов, в качестве которых предлагается применить концептуальные модели ТС. С этой целью сделан обзор и анализ известных концептуальных моделей и систематизированы свойства технических систем, выявленные в разных источниках. Знание совокупности этих свойств необходимо для разработки концептуальных моделей, предназначенных для решения проблем инженерии знаний в данной предметной области. Определены задачи по дальнейшей детализации и конкретизации общих свойств ТС для построения таких моделей и использования их в качестве прототипов.

Ключевые слова: технические системы, модели и моделирование технических систем, свойства технических систем, инженерия знаний, модели-ориентированная системная инженерия.

Введение

Основная тенденция совершенствования технических систем (ТС) заключается в повышении степени автоматизации процессов решения трудно алгоритмизируемых задач, традиционно выполняемых операторами: анализа ситуаций функционирования и принятия решений по управлению состояниями ТС в штатных и нештатных ситуациях. В идеальном случае решение этих задач должно осуществляться автоматическими системами. Для их создания, в первую очередь, требуется предварительная разработка формализованных структурированных моделей, содержащих информацию о потенциально существующих возможностях управления состояниями ТС в различных эксплуатационных условиях и ситуациях, предусмотренных конструкцией систем. Необходимые для этого знания имеются в конструкторской документации и у экспертов — разработчиков и специалистов по эксплуатации ТС. Однако представить их в виде формализованных структурированных моделей, оказывается весьма проблематично, как

при составлении конструкторской документации (исходных описаний) ТС, так и при ее наличии.

Моделирование ТС выполняется в два этапа: сначала осуществляется приобретение, систематизация и структуризация знаний, а затем — их представление в требуемом формализованном виде. В настоящее время задачи первого этапа решаются эмпирическими и эвристическими методами, что обуславливает существенную зависимость характеристик моделей от множества субъективных и труднопредсказуемых факторов [1]. Следствием этого является высокая сложность моделирования и отсутствие уверенности в получении требуемого конечного результата, что во многих случаях приводит к отказу от построения таких моделей. В результате, решение задач анализа ситуаций и принятия решений по управлению состояниями ТС в большинстве автоматизированных систем осуществляется операторами, с вытекающими отсюда негативными последствиями, связанными с проявлениями человеческого фактора.

Это обстоятельство обуславливает актуальность и необходимость разработки универсаль-

¹ Исследования выполняются при поддержке РФФИ (проекты №№ 10-08-90027-Бел_а, 11-08-00641-а, 11-08-00767-а, 11-08-1-16-а)

ных инженерных методик и технологий моделирования. В первую очередь это касается решения проблем начального этапа построения моделей, составляющих предмет инженерии знаний [2]. При этом разработка универсальных методов их решения существенно усложняется вследствие большого разнообразия существующих и проектируемых технических систем, каждая из которых имеет множество индивидуальных специфических особенностей, которые требуется учитывать в моделях, но невозможно предусмотреть в общесистемной методологии.

В инженерии знаний для решения проблем поиска, отбора, систематизации и структуризации исходной информации применяется метод, основанный на использовании *прототипов* моделей предметной области, который в когнитивной психологии считается наиболее результативным методом решения сложных творческих задач [3]. Этот же метод используется и в качестве концептуальной основы нового научного направления — модели-ориентированной системной инженерии (model-based systems engineering — MBSE) [4, 5].

В MBSE для решения этих проблем сначала предполагается разработка «модели моделей» (метамодели, репрезентативной модели) выбранного класса объектов, которая должна отражать свойства и закономерности, одновременно присущие всему множеству их моделей, а затем уже, с использованием свойств этой метамодели, осуществляется построение моделей конкретных объектов этого класса. По сути дела, «модель моделей» можно интерпретировать как *концептуальную модель*², знание свойств которой позволяет упростить процессы систематизации и структуризации имеющихся знаний и представить их в виде формализованных моделей предметной области.

Концептуальная модель — это описание свойств предметной области, совокупность которых позволяет упростить понимание присущих ей закономерностей, существенных для заданных целей применения. Построение концептуальной модели (КМ) процессов управ-

ления функциональными состояниями технической системы (ТС) и ее использование при решении задач инженерии знаний необходимо:

- для выявления и детализации причинно-следственных закономерностей, характеризующих эти процессы, с целью получения, систематизации и структуризации знаний о предметной области;
- для дефиниции онтологических понятий, применяемых при описании этих знаний, и установления семантических отношений между ними;
- для упрощения моделирования процессов функционирования реальных ТС и управления их состояниями за счет использования КМ в качестве общесистемного прототипа создаваемых моделей.

Возможность использования концептуальных моделей ТС в качестве средства методического инструментария, применяемого для решения проблем инженерии знаний в моделировании реальных систем, обуславливает принципиально новые требования к свойствам этих моделей. В связи с этим актуализируются задачи: анализа существующих концептуальных моделей ТС и совокупности их свойств; оценки возможностей их применения для решения указанных проблем и, в случае отсутствия таких возможностей, постановки задач на построение концептуальных моделей, удовлетворяющих соответствующим потребностям требованиям.

1. Проблемы определения понятия «техническая система»

В настоящее время понятие «техническая система» имеет множество альтернативных вербальных определений [7, 8]. Каждое из них основано на перечислении некоторого набора общих свойств объектов этой категории, составляющих объем понятия «ТС». При этом очевидно, что выбор свойств должен определяться целью дальнейшего использования содержащего их понятия. Однако авторами большинства альтернативных дефиниций понятия «ТС» эта цель чаще всего явно не указывается. В результате каким-то конкретным потребностям задачам могут не соответствовать все или отдельные существующие сегодня определения из-за того, что используемые в них свойства не отражают требуемых для этого особенностей ТС.

² Концептуальная модель — модель предметной области, состоящая из перечня взаимосвязанных понятий, используемых для описания этой области, вместе со свойствами и характеристиками, классификацией этих понятий, по типам, ситуациям, признакам в данной области и законов протекания процессов в ней [6].

Понятие «техническая система» в рассматриваемом здесь случае должно быть основано на учете общих свойств, характеризующих процессы управляемого функционирования объектов этой категории. Рассмотрим содержание проблемы дефиниции этого понятия.

Технические системы — это элементы универсума материальных объектов искусственного происхождения — технических объектов, имеющие некоторую совокупность общих свойств, которая может рассматриваться в качестве множества классификационных признаков объектов таксона «Технические системы».

Таксон (от лат. taxare — оценивать) — это группа объектов (предметов), объединяемых по каким-либо признакам (свойствам) в одну категорию [9]. В «таксоне», в отличие от «класса», наряду с существующими объектами могут рассматриваться и гипотетические объекты, имеющие общие свойства. К ним относятся, например, проектируемые системы, в том числе существующие только в воображении конструктора. При этом модели, как и гипотетические ТС, так же представляют собой мыслимые объекты, для которых могут быть определены общие свойства. Поэтому рассматривать категорию «ТС» в качестве таксона технических объектов и их мыслимых образов, имеющих какую-то определенную совокупность общих свойств, представляется корректнее, чем в качестве класса конкретных материальных объектов.

Пример, иллюстрирующий принципы определения таксона по общим свойствам его объектов, приведен на Рис. 1. В этом примере объекту a соответствует множество свойств S_a , объекту b — множество S_b . Предполагается, что у объектов a и b существует не пустое множество общих свойств — S_{ab} ($S_{ab} = S_a \cap S_b \neq \emptyset$). В этом случае в универсуме технических объектов U_O может быть выделен таксон $O_{S_{ab}}$ ($O_{S_{ab}} \subset U_O$), множество свойств каждого элемента которого содержит свойства из множества S_{ab} , и определены его подтаксоны (подмножества) — O_{S_a} ($O_{S_a} \subset O_{S_{ab}}$) и O_{S_b} ($O_{S_b} \subset O_{S_{ab}}$), которые содержат объекты (элементы) со свойствами из множеств S_a и S_b соответственно.

Нетрудно заметить, что между мощностью множества свойств таксона и мощностью множества его объектов существует обратно пропор-

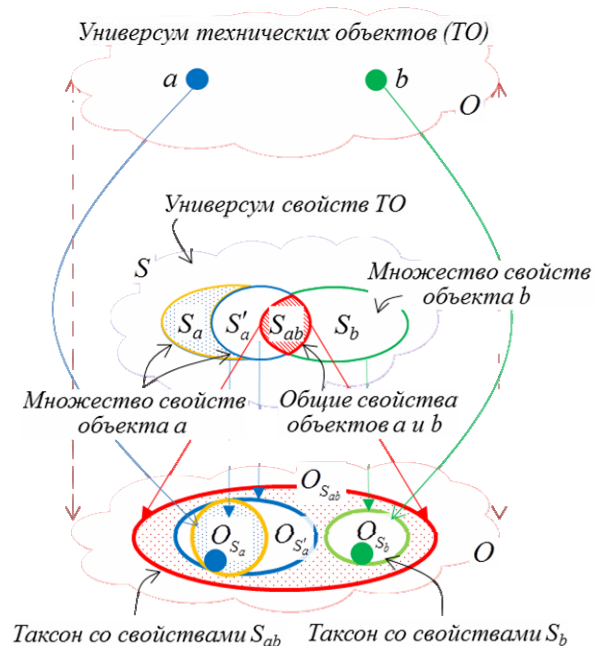


Рис. 1. Пример соотношений между свойствами технических объектов и соответствующими им таксонами

циональная зависимость: чем больше используется свойств для характеристики таксона, тем меньше в универсуме U_O можно выделить объектов, которые имеют эти свойства; и, наоборот — большей мощности таксона соответствует меньшее число общих для его элементов свойств.

Если, например, вместо совокупности свойств объекта a — S_a ограничиться рассмотрением части его свойств — S'_a ($S_{ab} \subseteq S'_a \subset S_a$), то таксон $O_{S'_a}$, объекты которого имеют совокупность свойств S'_a , можно рассматривать в качестве надтаксона для O_{S_a} ($O_{S_a} \subseteq O_{S'_a}$).

Задача дефиниции понятия «ТС» в формализованной постановке может быть сформулирована в двух вариантах, каждый из которых предполагает наличие возможности предварительного построения отображения $\alpha: S \rightarrow O$, сопоставляющего техническим объектам их свойства.

Первый вариант. В универсуме S выбирается множество общих свойств технических систем S_{TC} ($S_{TC} \subset S$), после чего определяется таксон O_{TC} ($O_{TC} \subset O$), для всех объектов которого справедливо условие: $\forall s \in S_{TC}, \alpha s \subset O_{TC} \wedge \forall s \notin S_{TC}, \alpha s \not\subset O_{TC}$.

Второй вариант. В универсуме O выбирается множество объектов, относящихся к категории «техническая система» O_{TC} ($O_{TC} \subset O$),

а затем определяется множество их общих свойств S_{TC} , для которых выполняется условие:

$$\forall o \in O_{TC}, S_{TC} \subset \alpha^{-1}o \wedge \forall o \notin O_{TC}, S_{TC} \not\subset \alpha^{-1}o.$$

Нетривиальность решения задачи определения состава свойств таксона «ТС» обусловлена необходимостью разрешения ситуации логически замкнутого круга: для выявления общих свойств технических систем надо знать, что анализируемые объекты являются объектами таксона «ТС»; а для того, чтобы считать их объектами этого таксона, надо быть уверенным в том, что им присущи общие свойства технических систем. Единственный приемлемый способ решения этой проблемы состоит в использовании эмпирических методов в определении совокупности общих свойств, присущих ТС.

Это обстоятельство объясняет, в частности, сохраняющуюся до сих пор философскую сущность обсуждений проблемы выбора состава и содержания свойств технических систем, и обуславливает вывод о том, что невозможно сформулировать «универсальное» определение понятия «ТС», пригодное для практического использования *одновременно* во всех областях человеческой деятельности.

В дальнейшем будем считать, что множество свойств, определяющих понятие (таксон) «техническая система», включает в себя множество свойств, характеризующих понятие «система», которые используются для этого в Общей теории систем (например, в [10]). Это договоренность позволит при анализе свойств таксона «ТС» ограничиться рассмотрением только специфических свойств, присущих его объектам.

Отбирая для рассмотрения в каких-то целях те или иные свойства систем, мы тем самым, формируем в своем сознании некоторый их мыслительный образ, т.е. модель. Это обстоятельство означает, что в качестве совокупности общих свойств — классификационных признаков таксона «ТС» можно рассматривать также и концептуальную модель, имеющую общие свойства для всех его объектов.

2. Концептуальные модели и свойства технических систем

Поиск публикаций, непосредственно посвященных вопросам концептуального моделирования ТС, показал, что работ в этой области не много, в сравнении, например, с числом публи-

каций по тематике общей теории систем. В большинстве своем они имеют философский характер, что косвенно подтверждает сложность и неудовлетворительное состояние проработки вопросов построения концептуальных моделей ТС, приемлемых для использования в качестве рабочего инструментария в инженерной практике [11-17]. Наиболее полно состав свойств ТС представлен в монографиях по Теории технических систем [18-20].

Существующие в настоящее время концептуальные модели ТС можно условно разделить на три вида: модель «черного ящика», модель «машины» и «органоструктурную» модель.

2.1. Модель ТС — «черный ящик»

Свойства концептуальной модели ТС, представленной в виде «черного ящика» (Рис. 2), наиболее полно сформулированы в [19-20].

Цель построения этой модели заключалась в рассмотрении свойств ТС, проявляемых в ее поведении при взаимодействии с объектами внешнего окружения. При этом сама система рассматривалась как материальный объект искусственного происхождения, специально разработанный для выполнения вполне определенных потребительских функций, предусмотренных ее конструкцией. В отличие от модели «черного ящика», которую используют в математической и общей теории систем, в рассматриваемой модели предполагается использование априорной информации о свойствах ТС.

В основе модели использованы положения, вытекающие из опыта практической деятельности людей: желаемые преобразования операнда (объекта преобразования) достигаются *целена-*



Рис. 2. Модель технической системы в виде «черного ящика»

правленными воздействиями материального, энергетического или информационного типов. Эти воздействия при любом преобразовании осуществляются людьми и/или техническими системами.

Рассмотрим свойства этой модели, сопровождая их комментариями, необходимыми для их уточнения в рассматриваемом контексте понимания назначения и последующего использования концептуальной модели ТС.

1. Любая потребность человека (субъекта действия) формулируется как совокупность требований к объекту действия (ОД), находящемуся в определенном состоянии. ОД рассматривается как средство достижения цели. Если желаемая цель не может быть достигнута непосредственно, то появляются промежуточная цель (подцель) и потребность изменений, которые, в конечном счете, позволят нужную цель (состояние) достигнуть.

ТС в этой модели ассоциируется с объектом действия. Но это только частный случай возможных отношений между ОД и ТС. Общий случай предполагает рассмотрение технических систем в качестве одной из функциональных частей ОД. Он учитывает возможности выделения в ОД «промежуточных» объектов, которые потенциально могут находиться между субъектом действия (СД) и ТС. Наличие или отсутствие таких объектов в ОД определяется выбором одного из возможных альтернативных вариантов разделения функций между СД, ОД и ТС, что осуществляется при решении задачи определения функциональных границ для каждого из них.

Поясним это на примере определения места и функциональной роли пульта дистанционного управления (ПДУ) телевизором (ТВ) в модели «субъект действия → объект действия».

Решения на управление состояниями ТВ принимает пользователь, и он же управляет ТВ посредством ПДУ. ПДУ генерирует управляющие воздействия на ТВ, т.е. *непосредственно* управляет его состояниями. Что в этом примере следует отнести к субъекту, а что к объекту действия? Ответ на этот вопрос зависит от выбора варианта разделения функций между СД и ОД. Если, например, считать, что СД выполняет только функции принятия решений, то в состав ОД должны быть включены ПДУ и ТВ. В этом случае ПДУ выполняет в ОД роль промежуточного объекта между СД и ТВ. Но можно и по-другому выбрать состав функции, выпол-

няемых субъектом действия — объединить в нем функции, выполняемые пользователем, и функции ПДУ. Тогда уже в модели СД придется рассматривать две его функциональные части — пользователя и ПДУ.

Первый вариант разделения функций в этом примере представляется более приемлемым, так как он соответствует естественной последовательности действий: принятие решений → формирование «задания» на их исполнение → преобразование «задания» в управляющие воздействия на объект его реализации → выполнение «задания».

Приведенный пример подтверждает вывод, что, в общем случае, ТС в модели «субъект действия → объект действия» следует рассматривать в качестве функциональной части ОД.

2. Изменение состояния ОД называется преобразованием (функционированием), а предмет воздействия — операндом. Преобразование — это искусственный процесс, в котором желаемое изменение достигается путем целенаправленного использования природных явлений. Необходимость преобразования вызывается неудовлетворительным исходным состоянием операнда или потребностью в выходном состоянии операнда как желательного средства для достижения цели субъекта действия. Операндами процессов преобразований могут служить биологические системы, материя, энергия и/или информация.

3. Преобразование выполняется на основе технологии, определяющей систему частичных преобразований. Для выполнения некоторого преобразования могут быть разработаны разные технологии, основанные на различных принципах. Система преобразований — это некоторое отношение на множестве всех участвующих в преобразовании элементов.

4. Преобразования, в том числе частичные, реализуются определенными действиями — воздействиями на операнд. Действия могут осуществляться тремя системами-операторами: людьми, техническими системами и реальным окружением. Действия осуществляются в рамках процессов действия (цепочек действия), превращающих вход оператора в выход системы преобразований. Между преобразованием (следствие) и действием (причина) существуют причинные отношения.

5. Задачей (целью, назначением) технической системы является выполнение определенного

воздействия в техническом процессе. Воздействия происходят на границе технической системы при определенных условиях (ограничениях).

Из контекста описания этого свойства можно сделать вывод, что границы модели здесь отождествляются с границами «корпуса» ТС. Такая понятийная трактовка «границ» фактически не информативна при моделировании процессов управляемого причинно-следственного функционирования систем. Для этого нужна информация о свойствах начальных событий (входов) — непосредственных причин, инициирующих эти процессы или их управляемые изменения, и о свойствах конечных событий (выходов), по которым судят о результатах реакции систем на входные воздействия.

6. Воздействие реализуется как выход процесса действия (цепочки действий), в котором входные величины преобразуются в выходные воздействия. Процесс действия определяется структурой технического процесса, в связи с чем, говорят о способе действия технической системы. Он вызывается непосредственной причиной и происходит в нужный момент (период) времени. ТС находится в определенных отношениях со всеми элементами соответствующей системы преобразований. Наряду с известными желательными входами и выходами имеются также и нежелательные входы и выходы, которые называются помехами.

Здесь не раскрываются особенности природы воздействий на ТС — информационной, энергетической или материальной. У каждой из них имеются свои специфические свойства, которые могут быть учтены при детализации и конкретизации свойств воздействий в концептуальной модели ТС.

Субъект действия, например, может осуществлять различные воздействия на систему: в виде цели, программы, команды управления ТС и/или в виде материально-энергетических воздействий на ее органы управления. Все перечисленные виды воздействий можно рассматривать как «управляющие». При этом очевидно, что у каждого из них есть какие-то специфические свойства, отличающие их от других видов воздействий, которые потенциально могли бы быть учтены в концептуальной модели ТС.

Кроме того, отсутствует детализация свойств возмущающих воздействий, оказываемых на ТС. Это могут быть целенаправленные или случайные воздействия, искусственной или

естественной природы, воздействия вызывающие или не вызывающие существенные отклонения в ожидаемом поведении ТС. В частности не учитывается, что одним из общих свойств технических систем является возможность целевого использования в условиях штатной эксплуатации, которые всегда предусматриваются в их конструкции. Эти условия предполагают соответствие функционального поведения систем конструкторской документации при вполне определенных возмущающих воздействиях, как природных источников, так и источников искусственного происхождения.

7. Управление технической системой понимается в двух смыслах: как управление ее функциональными состояниями (техническим функционированием) или как управление процессами выполнения ее потребительскими функциями (целевым функционированием). Под «техническим функционированием» понимаются процессы причинно-следственного изменения состояний элементов конструкции ТС, а под «целевым» — поведение системы во внешней среде и окружении. Потребительские функции находятся с техническими функциями ТС в отношении «цель — средство».

8. Процесс и способ действия характеризуются преобразованиями материальных, энергетических и информационных входов внутри ТС. Технические функции образуют, в рамках одной системы, ее функциональную структуру. Техническая функция описывает способность ТС в преобразовании входных величин в требуемые выходные путем упорядоченного использования природных явлений и законов.

9. На стадиях возникновения, использования и ликвидации (жизненного цикла) ТС находится в различных состояниях и играет различные роли в зависимости от того, к какой системе преобразований она принадлежит.

В этом тезисе не учитывается, что ТС со временем ее эксплуатации стареет (деградирует) и что негативно сказывается на изменении ее функциональных возможностей и возможностях управления ее состояниями. Эти изменения должны быть отражены в моделях ТС. Разным интервалам жизненного цикла и вариантам деградации структуры ТС должны соответствовать отличные друг от друга модели, отражающие произошедшие изменения в системе.

10. Любой технический объект (система, устройство, деталь) создается для выполнения

вполне определенных потребительских функций. Создание таких объектов предполагает следующий порядок: сначала определяется потребительская функция, потом выбирается или разрабатывается метод ее реализации, а уже затем конструируется техническое средство для выполнения этой функции. Если непосредственно для выбранной потребительской функции сложно определить методы реализации, то ее представляют в виде структурированной модели взаимосвязанных локальных функций, для каждой из которых эта задача может быть решена. При этом каждой такой локальной функции всегда можно сопоставить мыслимый образ — *функциональную часть* технического объекта, отражающую назначение и границы средства реализации этой функции³.

Примером представления технических систем в базе их функциональных частей являются блок-схемы, входящие в состав конструкторской документации. Использование понятия «функциональная часть» позволяет при анализе и моделировании процессов управляемого функционирования реальных ТС абстрагироваться от разнообразия и специфики их конструкции и представить концептуальные модели в базе функциональных частей, общих для всех объектов таксона «ТС».

Функции технической системы реализуются составляющими ее функциональными частями (исполнительными органами) на основе определенных принципов действия. Для выполнения каждой функции может быть выбран желаемый принцип действия из нескольких возможных. Функциональные части и структуры ТС конкретизируются в виде элементов конструкции и конструктивных схем. Конструктивная схема воплощает (в обобщенном виде) все требуемые свойства и признаки технической системы. Каждая функция, функциональная часть или конструктивный элемент представляет собой систему подфункций, подчастей или конструктивных подэлементов, что вытекает из системного характера технических объектов и процессов.

2.2. Концептуальная модель «машины»

В соответствии с предложенной формулировкой задачи определения таксона «ТС» предполагается, что множество свойств «машин»

(и их моделей) включает в себя множество свойств технических систем. Таксон «машины» — это подтаксон таксона «ТС».

В философии техники [11-17] понятие «машина» трактуется как результат одной из фаз эволюционного совершенствования рабочего инструментария человека, осуществляемого в последовательности: орудия труда → устройства → машины. Существующие тенденции и подходы к определению свойств «машин» обобщены в монографии [16] и представлены в предложенной в ней модели (Рис.3).

Модель «машины» построена исходя из следующих соображений:

а) учитывалась возможность разделения объектов, участвующих в организации и реализации процессов получения полезного эффекта от использования «машин», на объекты, иницирующие их применение по целевому назначению — *субъекты действия* (СД), и объекты, реализующие функциональные возможности «машин» — *объекты действия*. Машина в модели «субъект действия → объект действия» рассматривается при этом как исполнительная функциональная часть объекта действия;

б) учитывалась возможность разделения фаз жизненного цикла машин на фазу *создания* и фазу *использования* машины для выполнения заданных потребительских функций. На фазе создания субъектом действия осуществляется формирование моделей машины, которые затем используются им при ее эксплуатации (управлении процессами функционирования);

в) при создании системы «человек-машина» по сравнению с системой «человек-устройство» происходит «передача» некоторых функций человека в процессе реализации основного деятельного акта вовне. Прежде всего, речь идет о возможности использования *внешних источников энергии* взамен мускульной. Включение в устройство преобразователей внешней энергии позволяет человеку освободиться от необходимости затрат собственной мускульной энергии на приведение внешней «исполнительной» системы в состояние функционирования;

г) включение преобразователя энергии в состав «машины» обусловило необходимость включения в состав ее модели *устройства управления*. Его функция состоит в передаче опосредованного воздействия человека на другие функциональные (исполнительные) части «машины», а также в инициации процесса пре-

³ Вместо термина «функциональная часть» в литературе иногда использует термин «орган» ТС.

образования энергии в машине для реализации ее потребительской функции.

Субъект действия в этой модели реализует функции принятия решений, которые состоят:

- в формировании требуемого будущего результата (в создании его идеального представления — модели результата);
- в формировании идеального представления (модели) будущего функционального образования — «машины» (системы);
- в разработке программы действий для достижения требуемого результата — идеального представления о содержании и последовательности действий;
- в инициации необходимых действий для «запуска» процессов функционирования «машины»;
- в определении момента достижения целевого состояния «машины», удовлетворяющего исходной потребности, и в прекращении процессов ее функционирования;
- в оценке полученного эффекта от использования «машины» — в сравнении его по определенным критериям с ожидаемым результатом.

требуемых эксплуатационных характеристик «машин» (смазка, нагрев-охлаждение, контроль параметров функционирования и т.п.).

На основании анализа свойств модели «машины», можно дополнить состав перечисленных общих свойств ТС.

11. Для любой технической системы априори существуют или всегда могут быть получены знания о ее конструктивном устройстве, правилах управления и процессах функционирования в штатных условиях эксплуатации. Они формируются еще на этапе поиска конструктивных решений, предназначенных для реализации заданных потребительских функций, и детализируются по мере разработки ТС. Состав и зависимость степени полноты этих знаний и их описаний (моделей) от степени разработки систем показаны на Рис. 4.

12. В процессе функционирования все ТС потребляют энергетические ресурсы, предусмотренные их конструкцией. Следовательно, наличие таких энергоресурсов является необходимым условием для обеспечения функционирования системы, а их источники по отношению к ТС могут рассматриваться в качестве *внешних обеспечивающих объектов*.

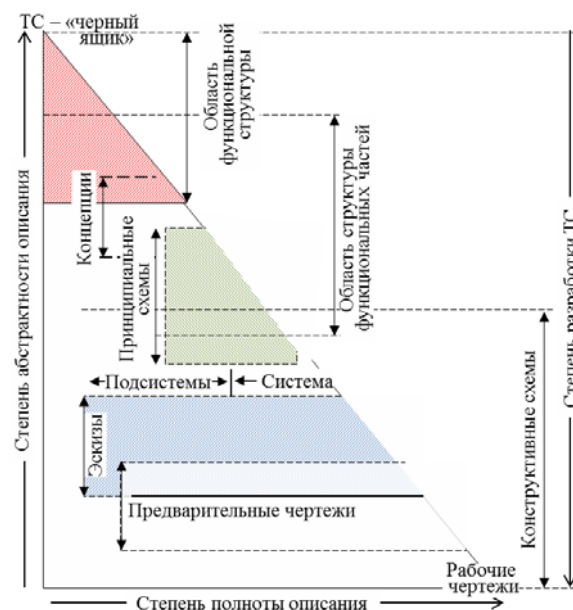


Рис. 4. Виды описаний технических систем
и зависимость их степени полноты
от степени процесса разработки системы

13. Технические системы в модели «субъект действия → объект действия» рассматриваются как часть объекта действия, которая *непосредственно* обеспечивает необходимые условия для получения результата, ожидаемого субъектом действия (полезного эффекта). Эти условия достигаются при нахождении ТС в определенных *состояниях устойчивого равновесия* — «целевых» состояниях. Время нахождения ТС в таких состояниях должно быть достаточным для анализа субъектом действия текущей ситуации и для принятия и реализации формируемых им решений.

2.3. Модель органоструктуры ТС (структуры функциональных частей) ТС

Модель (Рис.5) предложена в Теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [17, 18]. Она отражает эмпирическое положение этой теории о том, что любой технический объект, способный, после оказанного на него управляющего воздействия, самостоятельно (без вмешательства извне) выполнять потребительские функции (функционировать), должен содержать, по крайней мере, четыре определенным образом взаимодействующих между собой функциональные части: «двигатель», «трансмиссия», «рабочий орган» и «орган управления» [17].

Функция «двигателя» состоит в преобразовании внешней энергии в требуемый для функционирования «рабочего органа» (РО) вид. «Трансмиссия» осуществляет реализацию функции передачи энергии от «двигателя» к РО, а также воздействий «органа управления» на «рабочий орган» ТС. «Рабочий орган» рассматривается в модели в качестве «главной» функциональной части, которая непосредственно реализует потребительские (полезные) функции технической системы. Все остальные части по отношению к РО и к потребительским функциям ТС выполняют «вспомогательные» роли.

Функции «органа управления» в модели не конкретизированы. Из контекста описания модели следует, что он выполняет все задачи, относящиеся к управлению функциональными частями ТС [21]. Такое описание его функциональной роли носит семантически размытый характер, что не позволяет однозначно решить задачу определения функциональных границ

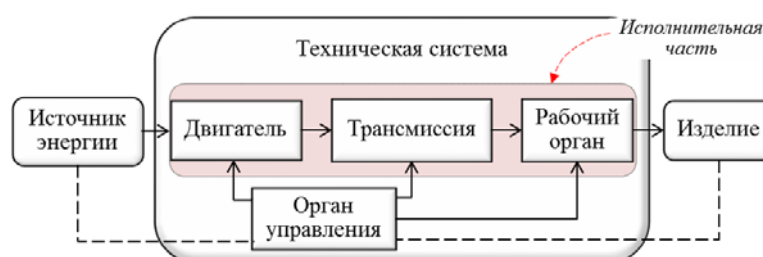


Рис. 5. Модель органоструктуры ТС («машины»)

«органа управления» — свойств «входных» объектов, непосредственно инициирующих его функционирование, и объектов, характеризующих конечные результаты его функционирования, — «выхода».

Эта модель имеет существенное сходство с моделью «машины», выделенной затенением на Рис. 4: орган управления — это устройство управления в модели «машины», рабочий орган — устройство для преобразования, двигатель — внешний силовой привод. Это обстоятельство, а также анализ логики рассуждений, использованных в обосновании рассматриваемой модели, позволяет сделать вывод, что в ТРИЗ под моделью технической системы понимается модель «машины» — одного из частных подвидов ТС.

Отличительным признаком (свойством) концептуальных моделей «машин», является использование в них специфической функциональной части — «двигателя» («внешнего силового привода»), осуществляющей энергетические преобразования для формирования физических (механических) воздействий на объекты внешнего окружения посредством «рабочего органа». Однако можно привести множество примеров, когда для объектов, интуитивно относимых нами к техническим системам, представляется проблематичным выявить в составе их функциональных частей «двигатель» или «внешний силовой привод» (например, в системах, предназначенных для преобразования и обработки информации). Это позволяет сделать вывод, что указанное свойство не входит в состав идентификационных признаков таксона «ТС».

Общее свойство моделей «машин», характеризующее их как модель ТС, заключается в возможности выделения двух последовательно взаимодействующих функциональных частей: *управляющей* (орган - устройство управления) и *исполнительной* (силовой привод, дополни-

тельное устройство и устройство для преобразований — в модели «машины»; двигатель, трансмиссию и рабочий орган — в модели органоструктуры). При этом анализ возможности выделения «управляющей» и «исполнительной» функциональных частей в составе различных технических систем эмпирически подтверждает наличие такого свойства-признака и у таксона «ТС».

Указанное свойство ТС соответствует известному свойству структурного состава «систем» — возможности выделения в них множества взаимодействующих между собой частей, и конкретизирует функциональное назначение двух из них — управляющей и исполнительской, что обуславливает его включение в состав общих свойств таксона «ТС».

14. В любой технической системе могут быть выделены две последовательно взаимодействующие функциональные части: управляющая и исполнительная. Функция «управляющей» части заключается в восприятии целенаправленного внешнего воздействия (управляющего воздействия), оказываемого субъектом действия на ТС, и преобразовании его в действие, непосредственно инициирующее процесс функционирования «исполнительной» части системы, результат которого ассоциируется с результатами выполнения потребительской функции системы в целом.

Заключение

Анализ тематической литературы показал, что существующие концептуальные модели ТС имеют в основном гносеологический, познавательный характер. Степень конкретизации свойств ТС и этих моделей недостаточна для их практического использования при решении проблем инженерии знаний в данной предметной области:

- они не отражают влияние фактора времени на ТС и причинно-следственные закономерности процессов управляемого функционирования систем; не детализированы или вообще не учитываются особенности объектов внешнего окружения ТС и свойств воздействий, осуществляемых ими на систему;
- применяемые понятия (например, «состояние», «управляющее воздействие» и др.) используются без предварительного определения состава их свойств и допускают неоднозначную смысловую интерпретацию, что не позволяет

однозначно определить функциональные границы предметной области моделирования и составляющих ее частей;

- не детализированы свойства функциональной структуры и функциональных частей ТС;
- формы графического представления моделей слабо отражают совокупность сопоставляемых им свойств; некоторые модели представлены в смешанном понятийном базисе — в них «объекты» взаимодействуют с «процессами», что противоречит принятым способам описания, как объектов, так и выполняемых ими функций;
- не рассматриваются процессы, которые могут реализовываться встроенными системами и устройствами управления состояниями ТС.

Это позволяет сделать вывод, что для решения проблем инженерии знаний в моделировании процессов управляемого функционирования ТС требуется разработка принципиально другой концептуальной модели. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить функциональные границы моделируемой предметной области — процессов управляемого функционирования и процессов управления состояниями ТС. Необходимо разделить объекты внешнего окружения ТС и входные воздействия по их функциональной роли по отношению к системе — управляющие, обеспечивающие, возмущающие — и конкретизировать их свойства;
- учесть в моделях факторы времени, проявляемые при эксплуатации ТС на протяжении жизненного цикла и при отработке управляющих воздействий (функционировании);
- детализировать типы и определить свойства управляющих воздействий, оказываемых на ТС. В качестве таких воздействий могут использоваться наборы предписаний, инструкций, команд, сигналов и их различных комбинаций, которые определяют последовательность взаимодействия и границы функциональных частей ТС. Необходимо конкретизировать свойства этих воздействий до уровня, на котором возможно их параметрическое описание;
- детализировать и конкретизировать свойства функциональной структуры ТС, а также состава и структуры функциональных частей системы;
- определить семантическое и параметрическое содержание свойств онтологических концептов описания предметной области — понятий, используемых в качестве атрибутов

концептуальных моделей процессов управляемого функционирования ТС;

- разработать методы решения проблем инженерии знаний при использовании концептуальных моделей процессов управляемого функционирования ТС — целенаправленного поиска и отбора требуемой для моделирования информации (знаний) в исходных описаниях системы и ее по следующей систематизации, структуризации и формализации;

- разработать методы формирования требований к моделям реальных ТС, верификации и валидации моделей (структурированных и формализованных знаний).

Использование представленных здесь описаний свойств технических систем — признаков соответствующего таксона, позволит упростить решение перечисленных задач.

Литература

1. Скопин И.Н. Основы менеджмента программных проектов. М.: Изд-во "Интернет-университет информационных технологий". 2004.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
3. Солсо Р. Когнитивная психология. СПб.: Питер. 2006.
4. SYSTEMS ENGINEERING VISION 2020. Technical Operations International Council on Systems Engineering (INCOSE). http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf.
5. Jeff A. Estefan. Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies \\\ http://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf.
6. Толковый словарь по искусственному интеллекту / Авторы-составители Аверкин А. Н., Гаазе-Рапопорт М. Г., Поспелов Д. А. М.: Радио и связь. 1992. 256с.
7. Саммит разработчиков ТРИЗ. Формулировки: что такое техническая система. \\\ <http://www.triz-summit.ru/ru/section.php?docId=4592>.
8. Кириллов Н. П. Признаки класса и определение понятия «технические системы» // Авиакосмическое приборостроение. №8. 2009. С. 1-7.
9. Большой толковый словарь русского языка. Под. ред. Кузнецова С. А. СПб.: Норинт. 2000. 1536 с.
10. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем. М.: Высшая школа, 2006. 512 с.
11. Степин В. С., Горохов В. Г., Розов М. А. Философия науки и техники. М.: Гардарики, 1999. 400 с.
12. Рополь Гюнтер. Моделирование технических систем. Философия техники в ФРГ. М. 1989. С. 323-334 \\\ <http://www.philsci.univ.kiev.ua/biblio/FRG/323-334.html>.
13. Философия техники: история и современность // Ин-т философии РАН; под. ред. Розина В.М. М.: 1997. 283 с.
14. Ефременко Д. В. Введение в оценку техники. М.: МНЭПУ. 2002. 246 с.
15. Карташев В.А. Система систем. Очерки общей теории и методологии. М.: Прогресс-Академия. 1995. 416 с.
16. Саламатов Ю. П. Система законов развития техники (Основы теории развития технических систем). <http://www.trizminsk.org/e/21101000.htm>.
17. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио. 1979. 116 с.
18. Хубка В. Теория технических систем. М.: Мир. 1987. 202 с.
19. Hubka V., Eder W.E. Theory of Technical Systems. Springer. Berlin 1988.
20. Eder W. E., Hosnedl St. Design Engineering. A Manual for Enhanced Creativity. CRC Press. London, New York. 2008. 588 p.
21. Шпаковский Н. А. Человек и техническая система. Часть 1. М.: Генератор, 2003. \\\ <http://www.gnrtr.ru/Generator.html?pi=201&cp=3>

Кириллов Николай Петрович. Старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Окончил Военную инженерную академию им. А.Ф. Можайского в 1975 году. Кандидат технических наук. Автор более 100 печатных работ. Область научных интересов: систематизация и структуризация знаний о процессах управления и функционирования технических систем. E-mail: knp@mail.ru.