

В.П. ЗОЛОТОВ

С.М. КРЫЛОВ

М.В. САРАЕВ

ВВЕДЕНИЕ В ОБЩУЮ ТЕОРИЮ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Самара

Самарский государственный технический университет

2009



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Вычислительная техника»

В.П. ЗОЛОТОВ

С.М. КРЫЛОВ

М.В. САРАЕВ

ВВЕДЕНИЕ В ОБЩУЮ ТЕОРИЮ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Самара

Самарский государственный технический университет

2009

УДК 519.7/8

3 80

Рецензент д-р техн. наук В.И.Батищев

Золотов В.П.

3 80 Введение в общую теорию систем и системный анализ: учеб. пособ.
/ В.П. Золотов, С.М. Крылов, М.В. Сараев. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т,
2009. – 41 с.

В пособии приведены краткие сведения об истории появления и развитии теории систем и системного анализа (ТССА), дано толкование основных терминов и определений, приведена информация о наиболее значимых течениях в рамках ТССА, об используемых в них методах и математическом аппарате, кратко изложены основные положения современных подходов к ТССА.

Рекомендуется для студентов старших курсов факультета АИТ, учащихся магистратуры, а также для аспирантов, обучающихся по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

УДК 519.7/8

3 80

© В.П. Золотов, С.М. Крылов,
М.В. Сараев, 2009

© Самарский государственный
технический университет, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Термины «системный анализ», «системный подход» в современной научной литературе встречаются довольно часто. Однако при попытке прояснить их суть часто возникает много дополнительных вопросов, ответы на которые приходится искать в самых разных источниках, разбросанных по различным отраслям знаний. Порой найденные ответы достаточно противоречивы, порой – применимы только к одной, конкретной отрасли знаний. Цель данного пособия – помочь преодолеть такого рода трудности и хотя бы эскизно дать представление о системном анализе как о целостном научном направлении.

1. ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Наиболее интенсивное развитие современных методов системного анализа можно отнести к периоду появления и быстрого проникновения практически во все сферы человеческой деятельности вычислительной техники и связанных с ней технологий описания, моделирования и программирования различных систем – от простейших вычислительных до многокомпонентных территориально-распределённых компьютерных систем управления, контроля, диагностики, сбора и анализа данных, их хранения и интерпретации. В этой связи Н.Н. Моисеев приводит, по его выражению, довольно узкое определение системного анализа [1]: «Системный анализ – это совокупность методов, основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных систем – технических, экономических, экологических и т.д. Результатом системных исследований является, как правило, выбор вполне определенной альтернативы: плана развития региона, параметров конструкции и т.д. Поэтому истоки системного анализа, его методические концепции лежат в тех дисциплинах, которые занимаются проблемами принятия решений: теории операций и общей теории управления». К последним словам можно добавить, что в конце 20-го века очень важным направлением

системного анализа стало направление, основанное на так называемом «объектно-ориентированном подходе», позволяющем создавать чрезвычайно эффективные и гибкие решения для сложных информационных и информационно-технологических систем с использованием методов объектно-ориентированного программирования (ООП) [26].

К базовым концепциям системного анализа можно отнести следующие:

1. Декомпозиция исходной системы на составляющие её компоненты, анализ и описание этих компонентов в том или ином (формальном или неформальном) виде.

2. Вычленение связей между компонентами, их анализ и описание.

3. Разработка методик, методов или способов анализа, включая формальные и неформальные, и (или) синтеза фрагментов системы, целой системы или даже совокупности систем с заданными (улучшенными) характеристиками, включая модели таких фрагментов и систем, пригодные для компьютерного анализа или реализации с целью их изучения и (или) построения для них эффективных систем контроля, диагностики и управления.

Заметим, что конкретными задачами конкретного системного анализа, связанного с решением конкретной проблемы, могут быть отдельные фрагменты перечисленных выше базовых концепций.

Перечислим основные понятия, используемые в системном анализе.

Система – единая совокупность объектов (частей системы) вместе с их взаимосвязями. В настоящее время термин «система» относится к наиболее употребляемым. За термином стоит развитая и разнообразная методология, которая характеризует сложившийся в течение всей интеллектуальной истории человечества, и особенно в последние десятилетия, очень эффективный стиль мышления [2, 21].

Системология – совокупность методов и средств систематизации и формализации инженерных знаний с целью их дальнейшего моделирования на ЭВМ. Таким образом, системология является основой компьютеризации инженерных знаний, т.е. по существу является специальным разделом инженерии знаний. Системология использует

методы системного подхода, системного анализа, общей теории систем и общей инженерии знаний [22].

Системный анализ (СА) – совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного и технического характера. СА опирается на системный подход, а также на ряд математических дисциплин и современных методов управления. Основная процедура СА – построение обобщенной модели, отображающей взаимосвязи реальной ситуации; техническая основа системного анализа – вычислительные машины и информационные системы [23].

Системные исследования – вся совокупность научных и технических проблем, которые при всей их специфике и разнообразии сходны в понимании и рассмотрении исследуемых ими объектов, как систем, т.е. множества взаимосвязанных элементов, выступающих в виде единого целого [7].

Общая теория систем (ОТС) выступает в этом случае как обширный комплекс научных дисциплин, поддерживающих системный анализ и системные исследования с теоретических позиций. Следует отметить, что при таком истолковании в известной мере теряется определенность задач теории систем и её содержания. Строго научной концепцией (с соответствующим аппаратом, средствами и т.д.) можно считать лишь ОТС в узком смысле (один аппарат, один исследовательский инструментарий). В широком смысле ОТС или совпадает с ОТС в узком смысле, или представляет собой действительное расширение и обобщение ОТС в узком смысле и близких к ней дисциплин.

Системное движение по своим задачам призвано выработать новое – в противовес механистическому – видение мира, разработать принципы нового направления научных и технических исследований. И как таковое оно, несомненно, должно включать в себя совокупность принци-

пиально различных по своему типу разработок – философских, логико-методологических, математических, модельных, эмпирических и т.д. [7].

Несмотря на длительный период существования данного научного направления, термины «теория систем» и «системный анализ» всё ещё не нашли общепринятого, стандартного истолкования. Причина этого факта заключается, скорее всего, в динамичности процессов в области человеческой деятельности и, кроме того, в принципиальной возможности использовать системный подход практически в любой решаемой человеком задаче.

Преимущество системного подхода заключается, по крайней мере, в возможности постановки и решения двух типов задач [2]:

- расширение и углубление знаний о «механизмах» взаимодействия объектов в системе; изучение и, возможно, открытие новых свойств системы;

- повышение эффективности системы в интересующем исследователя плане.

Хронология науки относит момент зарождения теории систем и системного анализа (ТССА) к середине прошлого столетия. Тем не менее, можно считать, что на самом деле возраст ТССА составляет ровно столько, сколько существует Homo Sapiens [2].

По мере развития науки и, прежде всего, кибернетики эта отрасль сформировалась в самостоятельный раздел.

ТССА может быть разделена на две достаточно условные части:

- теоретическую, использующую теорию вероятностей, теорию множеств, теорию информации, теорию игр, теорию графов, теорию расписаний, теорию решений, топологию и др.;

- прикладную, основанную на прикладной математической статистике, методах исследовании операций, системотехнике и т.д.

В теории систем имеется своё «ядро», свой особый метод – системный подход к решению возникающих задач. Сущность этого метода достаточно проста: все элементы системы и все операции в ней следует рассматривать только как единое целое, т.е. в совокупности и во взаимосвязи друг с другом [2].

Можно выделить следующие наиболее важные принципы системного подхода [2]:

1. Совокупность элементов системы рассматривается как одно целое или, более жёстко, запрещено рассмотрение системы как простого объединения элементов.

2. Свойства системы – не просто сумма свойств её элементов. Тем самым постулируется возможность того, что система обладает особыми (эмерджентными) свойствами, которых может и не быть у отдельных элементов.

3. Эффективность как важный атрибут системы. Теоретически доказано, что всегда существует функция ценности системы – в виде зависимости её эффективности (почти всегда это экономический показатель) от условий построения и функционирования. Кроме того, эта функция ограничена, а значит можно и нужно искать её максимум.

4. Запрещается рассматривать систему в отрыве от окружающей её среды, т.е. как автономную, обособленную. Это означает обязательность учета внешних связей или, в более общем виде, необходимость рассматривать анализируемую систему как часть (т.е. как подсистему) некоторой более общей системы.

5. Возможность, а иногда и необходимость деления данной системы на части, на подсистемы. Если последние оказываются недостаточно просты для анализа, с ними поступают точно так же. Однако в процессе такого деления нельзя нарушать предыдущие принципы – пока они соблюдены, деление оправдано, разрешено в том смысле, что гарантирует применимость практических методов, приёмов, алгоритмов решения задач системного анализа [2].

Задача исследования операций или задача управления могут быть решены только в том случае, когда может быть построена модель системы и поставлена цель. Обычно различают физическое моделирование и математическое моделирование.

При физическом моделировании модель воспроизводит изучаемый процесс с сохранением его физической природы. Преимущество физического моделирования перед натурным экспериментом состоит в том, что условия реализации процесса-модели выбираются исходя

из удобства и простоты исследования, единственное требование при этом – сохранение соотношений подобия [24].

Математическое моделирование – это способ исследования различных процессов путем изучения явлений, имеющих различное физическое содержание, но описываемых одинаковыми математическими соотношениями [24].

Математическая модель является абстрактным формально описанным объектом, изучение которого возможно математическими методами [24].

Исходя из способа дальнейшего использования математической модели для изучения системы модели делят на аналитические и имитационные.

В аналитических моделях процессы записываются в виде функциональных соотношений и логических условий [24].

В имитационных моделях используется алгоритмическое описание [24].

Обычно способ исследования выбирается после того, как математическая модель реальной системы уже построена.

Ценность системного подхода состоит в том, что рассмотрение категорий системного анализа создает основу для логического и последовательного подхода к проблеме принятия решений. Эффективность решения проблем с помощью системного анализа определяется структурой решаемых проблем.

Согласно существующей классификации, все проблемы можно разделить на три класса [25]:

1) хорошо структурированные (well-structured), или количественно сформулированные проблемы, в которых существенные зависимости выяснены очень хорошо;

2) неструктурированные (unstructured), или качественно выраженные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны;

3) слабо структурированные (ill-structured), или смешанные проблемы, которые содержат как качественные элементы, так и малоизвестные, неопределенные стороны, которые имеют тенденцию доминировать.

Для решения хорошо структурированных количественно выражаемых проблем используется известная методология исследования операций, которая состоит в построении адекватной математической модели (например, задачи линейного, нелинейного, динамического программирования, задачи теории массового обслуживания, теории игр и др.) и применении соответствующих методов для отыскания оптимальной стратегии управления.

Для решения слабо структурированных проблем используются методы и методология системного анализа, различные системы поддержки принятия решений и т.д.

Согласно [4], процедура принятия решений включает в себя следующие основные этапы:

- формулировка проблемной ситуации;
- определение целей;
- определение критериев достижения целей;
- построение моделей для обоснования решений;
- поиск оптимального (допустимого) варианта решения;
- согласование решения;
- подготовка решения к реализации;
- утверждение решения;
- управление ходом реализации решения;
- проверка эффективности решения.

2. НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В РАЗВИТИИ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Большинство современных ученых связывает наиболее общий теоретический подход к анализу (и, соответственно, синтезу) систем самой различной природы (физической, технической, биологической

и т.д.) со сравнительно новым научным направлением, получившим название общей теории систем (ОТС). Первые достаточно ясные формулировки задач и методов ОТС восходят к известным работам основателя этого направления – австрийского биолога и философа Людвиг фон Берталанфи (1901 – 1972), хотя некоторые следы и научные наметки, ведущие в направлении ОТС, встречаются в более ранних публикациях других ученых, в частности, в работах российского философа, врача и экономиста А.А. Богданова (1873 – 1928), касающихся его тектологии [5]. В начале 20-го века им были предприняты попытки разработать общие принципы системного подхода к окружающим нас объектам и явлениям. В его работе «Всеобщая организационная наука (тектология)» [6] впервые были изложены важные идеи и принципы, которые в несколько иной форме и на более строгой математической основе затем были переформулированы Н. Винером и Россом Эшби.

В ещё большей степени идеи тектологии А. Богданова перекликаются с подходами к ОТС Л. фон Берталанфи. Более того, в середине 80-х годов прошлого века идейная часть тектологии нашла своё строгое математическое подтверждение в рамках общей (объединённой) формальной технологии (ОФТ) – нового направления ОТС, использующей для доказательства своих общесистемных теорем строгие математические методы [9].

Таким образом, тектология – это законченная общенаучная концепция, исторически и фактически первый развернутый вариант ОТС. Основная идея тектологии – признание необходимости подхода к любому объекту или явлению со стороны его организации (или организованности, у других авторов – системности), в том числе во временном аспекте этого термина, то есть с точки зрения возможного процесса его (объекта или явления) получения (синтеза). Аналогичные постулаты, но уже на строгой формальной базе, связанной с основаниями математики и теорией алгоритмов, положены и в основу ОФТ. И если в тектологии под организованностью понимается свойство целого быть больше суммы своих частей, то в ОФТ доказывает-

ся, при каких свойствах компонентов объектов это выполняется и почему. По этой причине тезис о том, что «чем больше целое разнится от суммы своих частей, тем больше оно организовано» в ОФТ находит своё точное математическое решение, которое, как это часто бывает, даёт в том числе и новые, немного неожиданные результаты.

Тектология, как и ОФТ, рассматривает все явления (и объекты) как следствия процессов организации (синтеза) и дезорганизации (разборки, разъединения компонентов). Эти принципы организации и динамики (поведения) объектов и явлений оказываются тесно связаны с принципом целостного рассмотрения всего мира вообще [5, 6].

Таким образом, ОТС, тектология и ОФТ – это науки об организованности, системности явлений. Кибернетика же – наука об управлении объектами или их системами. То есть предмет кибернетики несколько уже, что обусловлено большей ёмкостью понятия «организация системы», чем понятия «управление». Тектология плюс ОТС и ОФТ, как общие теории, включают в сферу своего рассмотрения не только кибернетические принципы (т.е. принципы управления системами), но и вопросы их иерархической организации, их распада и возникновения, обмена со средой и т.д. [5-7].

Л. фон Берталанфи первым из западных ученых разработал концепцию организма как открытой системы и сформулировал программу построения ОТС. В своей теории он обобщил принципы целостности, организации, эквифинальности (достижения системой одного и того же конечного состояния при различных начальных условиях) и изоморфизма.

В 1940-50 гг. Л. фон Берталанфи обобщил идеи, содержащиеся в теории открытых систем, и выдвинул программу построения ОТС, являющейся всеобщей теорией организации. Он приходит к концепции синтеза наук, которую в противоположность редукционизму (т.е. сведению всех наук к физике) называет перспективизмом.

К числу недостатков ОТС Берталанфи относятся неполное определение понятия «система», отсутствие анализа особенностей саморазвивающихся систем, а также условий, при которых системы мо-

дифицируют свои формы. Считается, что основной методологический недостаток его теории заключается в утверждении автора о том, что ОТС играет роль философии современной науки, формируя философски обобщенные принципы и методы научного исследования. В действительности это скорее декларированная цель, а не реальный, признаваемый многими учёными факт. Для философского учения о методах исследования необходимы принципиально новые исходные понятия и иная направленность анализа, в первую очередь – аксиоматическое построение знаний, формулировки и доказательства соответствующих обобщённых теорем, показывающих пути получения знаний независимо от конкретных областей исследований, связь между различными знаниями и др., что отсутствует в ОТС (но элементы чего находят своё отражение в соответствующих разделах ОФТ [9]).

Рассмотрим различные направления в разработке теории систем.

Обычно системные проблемы выражаются в полуметафизических понятиях и высказываниях, подобных, например, понятию «эмерджентная эволюция» или утверждению «целое больше суммы его частей». При применении классической «аналитической процедуры» некоторая исследуемая сущность разлагается на части, и, следовательно, затем она может быть оставлена или воссоздана из собранных вместе частей, причем эти процессы возможны как мысленно, так и материально. Это основной принцип классической науки. Научный прогресс показывает, что этот принцип классической науки, впервые сформулированный Галилеем и Декартом, приводит к большим успехам при изучении широкой сферы явлений [7]. Применение аналитических процедур предполагает выполнение следующих условий:

1) необходимо, чтобы взаимодействие между частями данного явления отсутствовало или было бы пренебрежимо мало для заданной исследовательской цели;

2) желательно, чтобы отношения, описывающие поведение частей, были бы линейными или могли аппроксимироваться таковыми.

Для образований, называемых системами, т.е. состоящих из взаимодействующих частей, эти условия не выполняются. Примером описания систем являются системы дифференциальных уравнений, в общем случае нелинейных. Методологическая задача теории систем состоит в решении проблем, которые носят более общий характер, чем аналитически-суммативные проблемы классической науки [7].

Существуют различные подходы к таким проблемам. Л. фон Берталанфи намеренно использует довольно расплывчатое выражение – «подходы», поскольку они логически неоднородны, характеризуются различными концептуальными моделями, математическими средствами, исходными позициями и т.д. Однако все они являются теориями систем [7]. Если оставить в стороне подходы в прикладных системных наследованиях, таких как системотехника, исследование операций, линейное и нелинейное программирование и т.д., то наиболее важными представляются следующие подходы [7]:

1. «Классическая» теория систем. Эта теория использует классическую математику и имеет цели:

– установить принципы, применимые к системам вообще или к их определённым подклассам (например, к закрытым и открытым системам);

– разработать средства для их исследования и описания и применить эти средства к конкретным случаям.

Учитывая достаточную общность получаемых результатов, можно утверждать, что некоторые формальные системные свойства относятся к любой сущности, которая является системой (к открытым системам, иерархическим системам и т.д.), даже если её особая природа, части, отношения и т.д. неизвестны или не исследованы.

2. Использование вычислительных машин и машинное моделирование. Системы дифференциальных уравнений, применяемые для моделирования систем, обычно требуют много времени для решения, даже если они линейны и содержат небольшое количество переменных; а нелинейные системы уравнений разрешимы только в некоторых частных случаях. По этой причине именно с появлением вычис-

лительных машин, способных значительно ускорить получение результатов при решении указанных выше классов задач, открылся новый подход к системным исследованиям.

3. Теория ячеек изучает системы, составленные из подъединиц с определенными граничными условиями, причем между этими подъединицами имеют место процессы переноса. Такие ячейные системы могут иметь, например, «цепную» или «звездообразную» структуру (цепь ячеек или центральную ячейку, сообщающуюся с рядом периферийных ячеек). Вполне понятно, что при наличии в системе трех и более ячеек математические трудности становятся чрезвычайно большими. В этом случае анализ возможен лишь благодаря использованию преобразований Лапласа и аппарата теорий сетей и графов.

4. Теория множеств. Общие формальные свойства систем и формальные свойства закрытых и открытых систем могут быть аксиоматизированы в языке теории множеств. По математическому изяществу этот подход выгодно отличается от более грубых и специализированных формулировок «классической» теории систем.

5. Теория графов. Многие системные проблемы относятся к структурным и топологическим свойствам систем, а не к их количественным отношениям. В теории графов, особенно в теории ориентированных графов (диграфов), изучаются реляционные структуры, представляемые в топологическом пространстве.

6. Теория сетей. Эта теория, в свою очередь, связана с теориями множеств, графов, ячеек и т.д. Она применяется к анализу таких систем, как нервные сети.

7. Кибернетика. В основе кибернетики лежит связь (передача информации) между системой и средой и внутри системы, а также управление (обратная связь) функциями системы относительно среды. Кибернетические модели допускают широкое применение, но их нельзя отождествлять с теорией систем вообще. Использование кибернетических моделей позволяет установить структуру регуляции системы даже в том случае, когда реальные механизмы остаются не-

известными и система представляет собой «черный ящик», определяемый только его входом и выходом. Таким образом, одна и та же кибернетическая схема может применяться к гидравлическим, электрическим, физиологическим и другим системам. Тщательно разработанная техническая теория сервомеханизмов применяется к естественным системам в ограниченном объеме.

8. Теория информации. По К. Шеннону, математическое выражение для понятия информации изоморфно выражению для негэнтропии в термодинамике. Считается, что понятие информации можно использовать в качестве меры организации. Хотя теория информации имеет большое значение для техники связи, её применение в науке до недавнего времени было весьма незначительно. Главной проблемой при этом оставалось выяснение отношения между информацией и организацией, между теорией информации и термодинамикой. Определённые усилия в направлении решения этой проблемы предприняты в последнее время в рамках исследований ОФТ-подходов и методов к вопросам организации и самоорганизации систем [9]. В частности, удалось доказать прямую связь между такими фундаментальными общесистемными понятиями, как энтропия системы, её функциональная сложность и объём описывающей эту систему информации.

9. Теория автоматов (теория абстрактных автоматов). Общей моделью теории автоматов может служить машина Тьюринга, которая представляет собой абстрактную машину, способную печатать (или стирать) на ленте конечной длины (но с возможностью её бесконечного наращивания в одну сторону) цифры 1 и 0. Можно показать, что любой сколь угодно сложный дискретный вычислительный процесс может моделироваться машиной Тьюринга, если этот процесс можно выразить с помощью конечного множества вычислительных операций.

10. Теория игр. Теория игр несколько отличается от других рассмотренных системных подходов, но её можно поставить в ряд наук о системах. На ней рассматривается поведение «рациональных» игроков, пытающихся достичь максимальных выигрышей и минимальных

потерь за счет применения соответствующих стратегий в игре с соперником (или природой).

11. Теория принятия решений – эта математическая теория изучает условия выбора между альтернативными возможностями.

12. Теория очередей. Рассматривает оптимизацию обслуживания при массовых запросах.

Учитывая ряд сделанных ранее замечаний, в число перспективных направлений ОТС должны быть включены также:

13. Объединённая формальная технология (ОФТ), рассматривающая объекты и явления с учётом процессов их синтеза и декомпозиции (т.е. разборки, разложения на составляющие компоненты), а также свойств и функциональностей образующих их компонентов.

14. Объектно-ориентированный подход при анализе и построении моделей сложных информационных и информационно-технологических систем, связанный с ООП (объектно-ориентированным программированием) [26].

Принимая во внимание неоднородность и явную неполноту проведенного рассмотрения, отсутствие достаточной чёткости в различении моделей и математических формализмов, такое перечисление позволяет показать, что существует целый ряд подходов к исследованию систем, причём некоторые из них обладают мощными математическими методами. Математические модели обладают важными достоинствами – чёткостью, возможностью строгой дедукции, проверяемостью и т.д. При этом не следует отказываться и от использования моделей, сформулированных в обычном языке [7].

Вербальная модель лучше, чем отсутствие модели вообще или математическая модель, которая при насильственном насаждении фальсифицирует реальность. Многие теории, получившие огромное влияние в науке, являются нематематическими по своему характеру (например, психоаналитическая теория), а в других случаях лежащие в их основе математические конструкции осознаются позднее и охватывают лишь отдельные аспекты соответствующих эмпирических данных (как в теории отбора). Математика, по сути дела, сводится к установлению алгоритмов, которые более точны, чем алгоритмы

обычного языка. Модели, выраженные в обычном языке, оставляют себе место в теории систем [7].

Подводя итоги, можно сказать, что ОТС у Л. Берталанти выступает в двух смыслах:

1. В широком смысле – как основополагающая, фундаментальная наука, охватывающая всю совокупность проблем, связанных с исследованием и конструированием систем. В теоретическую часть включаются 14 направлений, приведенных выше.

2. В узком смысле – ОТС, стремящаяся вывести из общего определения системы как комплекса взаимодействующих элементов понятия, относящиеся к организованным целым (взаимодействие, сумма, централизация, финальность и т.д.), и применяющая их к анализу конкретных явлений [7].

Прикладная область общей теории систем включает системотехнику, исследование операций, инженерную психологию [7].

Согласно одной из современных точек зрения, отраженной на международном интернет-сайте «Principia Cybernetica Project», общую теорию систем в соответствии с концепцией Л. фон Берталанти можно определить как «междисциплинарное изучение абстрактной организации феноменов независимо от их материальной реализации, типа или пространственных и временных масштабов существования» [10]. Причем при определении самой системы у авторов возникают некоторые трудности – не случайно термин «система» в определении ОТС отсутствует [11]. Тем не менее они выделяют следующие основные моменты:

1) в системе возможно выделение некоторого разнообразия вполне отличимых элементов;

2) элементы вовлечены в некоторый тип отношений;

3) этих отношений достаточно для формирования некоторой новой и ясной сущности на новом, системном уровне анализа [11].

3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Наиболее часто встречающиеся в научной литературе имена, связываемые с основанием общей теории систем – имена Норберта Винера и Росса Эшби.

Термин «кибернетика» ввёл Норберт Винер, определив его описательно как учение о связях и управлении в живом организме и машине.

В основе кибернетики лежит, прежде всего, понятие системы как некоторого материального объекта, состоящего из других объектов, называемых подсистемами данной системы. Второе важнейшее понятие кибернетики – понятие состояния системы (подсистемы). Как и понятие системы, понятие состояния является скрытым отношением – отношением между двумя моментами времени.

Кибернетика изучает организацию систем в пространстве и времени, т.е. то, каким образом связаны подсистемы в систему и как влияет изменение состояния одних подсистем на состояние других. Кибернетическое описание может иметь различный уровень детализации. Одну и ту же систему можно описывать либо в общих чертах, разбив её на несколько крупных подсистем, «блоков», либо более детально, описав строение и внутренние связи каждого блока. Но так или иначе кибернетическое описание всегда имеет какой-то конечный уровень, глубже которого оно не распространяется. Подсистемы этого уровня рассматриваются как элементарные, не разложимые на составные части [12].

В книге [13] рассматриваются не только вопросы управления, но и некоторые общесистемные проблемы.

У. Росс Эшби удачно охарактеризовал два возможных способа (или общих метода) системного исследования: «В этой области в настоящее время ясно различаются два главных направления исследования. Первое, достаточно хорошо разработанное Л. фон Берталанфи и его сотрудниками, принимает мир таким, каким мы его обнаруживаем: исследуются содержащиеся в нем различные системы – зоологические, физиологические и т.п., а затем делаются выводы о наблюдаемых закономерностях. Этот метод в основе своей является эмпирическим. При втором методе начинают с другого конца. Вместо того чтобы исследовать сначала одну систему, затем вторую, третью и т.д., следуют противоположному принципу – рассматривают множество «всех мыслимых

систем» и потом сокращают это множество до более рациональных пределов». Последний метод использовал и Л. фон Берталанфи [14].

Легко установить, что все исследования систем следуют первому или второму методу или той или иной их комбинации. Каждый из этих подходов имеет как свои преимущества, так и ограниченности.

1. Первый метод является эмпирико-интуитивным, его преимущество состоит в том, что он тесно связан с реальностью и может быть легко проиллюстрирован и даже верифицирован примерами, взятыми из частных областей науки. Вместе с тем такому исследованию явно недостает математической строгости и дедуктивной силы, и с точки зрения математики этот метод может казаться наивным и несистематическим [14].

Л. фон Берталанфи сформулировал ряд системных принципов как в контексте биологической теории и без явных ссылок на общую теорию систем, так и в специальной общесистемной работе «Очерк общей теории систем».

Эти принципы используются также в работах ряда авторов, не имеющих непосредственного отношения к этой работе и про которых, следовательно, нельзя сказать, что на них сказалось влияние Л. Берталанфи. Тем не менее, работы Ст. Бира и В.И. Кремянского, посвященные системным принципам, Д. Брэдли и М. Кальвина о сетях химических реакций, М. Хейра о росте организаций и т.д., показывают, что в них также используются «принципы Берталанфи» [14].

2. По пути построения дедуктивной теории систем пошел У. Росс Эшби [15]. Эшби задает вопрос об определении «фундаментального понятия машины» и отвечает на него, считая «машиной» вообще нечто, что ведет себя «машиноподобно», то есть «внутреннее состояние машины и состояние окружающей среды однозначно определяют последующее состояние машины». Если переменные являются непрерывными, то это определение соответствует описанию динамической системы с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений, где независимой переменной является время. Однако такое описание системы с помощью дифференциальных уравнений

слишком ограничено для теории, которая должна включать биологические системы и вычислительные машины, отличительной чертой которых является их прерывность. Поэтому необходимо ввести современное определение «машина со входом». Машина со входом определяется множеством S внутренних состояний, множеством I входов и отображением f произведения множеств $I \times S$ в S [14].

В этом случае «организация» определяется путем спецификации состояний машины S и её условий I . Если S – произведение множеств, то каждая часть i определяется своим множеством состояний T_i , а «организация» между этими частями определяется отображением f . Понятие самоорганизующейся системы, согласно Эшби, может иметь два значения:

1. Система в начале своей работы имеет отделенные друг от друга части, а затем эти части изменяются таким образом, что между ними устанавливаются некоторые связи. Таким образом, первым значением понятия «самоорганизующаяся система» является «изменение от неорганизованной системы к организованной».

2. Второе значение этого понятия – «изменение от плохой организации к хорошей». Система оказывается «самоорганизующейся», если её изменение происходит автоматически (например, изменение положительной обратной связи на отрицательную). Однако «никакая машина не может быть самоорганизующейся в этом смысле» [14]. Ведь адаптация (например, самопрограммирующейся вычислительной машины) означает, что в исходном пункте мы имеем множество S состояний и что f изменяется в g , так что организация является переменной величиной, например функцией времени $a(t)$, которая сначала принимает значение f , а позднее – g . Однако это изменение «не может быть приписано какой-либо причине в множестве S ; поэтому такой причиной может быть только некоторый внешний агент, воздействующий на систему S как её вход». Другими словами, для того, чтобы быть «самоорганизующейся», машина S должна быть соединена с другой машиной [14].

Использование дифференциальных уравнений является не только громоздким, но в принципе и неадекватным способом решения многих проблем организации [14].

Преодолевая эту ограниченность, Эшби ввёл новую. Его «современное определение» системы как «машины со входом» ставит на место общей модели системы специальную кибернетическую модель, то есть систему, открытую для информации, но закрытую для передачи энтропии. Это становится очевидным при применении данного определения к «самоорганизующимся системам». Характерно, что их наиболее важный вид, а именно системы, самоорганизующиеся путем прогрессивной дифференциации и развивающиеся из простых состояний к состояниям высокой сложности, не нашел своего места в концепции Эшби. Причём в этом случае не возникает вопрос о «хорошей» (то есть полезной, адаптивной) или «плохой» организации, что, как правильно подчеркивает Эшби, зависит от обстоятельств; рост дифференциации и сложности – безотносительно к полезности – является объективным критерием и поддается измерению (например, в единицах энтропии или информации). Если утверждение Эшби, что «никакая машина не может быть самоорганизующейся», представляется вполне приемлемым, то его мысль, что «изменение» не может быть приписано какой-либо причине в множестве S и может происходить лишь в результате действия «некоторого внешнего агента, воздействующего на систему как её вход», приводит, по сути дела, к отрицанию существования самодифференцирующихся систем. Причина, по которой подобные системы не допускаются в разряд «машин Эшби», достаточно очевидна. Самодифференцирующиеся системы, развивающиеся в направлении всё более высокой сложности (путём уменьшения энтропии), возможны – по термодинамическим соображениям – только как открытые системы, то есть системы, в которые вещество, содержащее свободную энергию, входит в количестве, большем, чем необходимо для компенсации роста энтропии, обусловленного необратимыми процессами внутри системы («внесение отрицательной энтропии»). При этом нельзя сказать, что изменение

является результатом действия «некоторого внешнего агента, воздействующего на систему как её вход»; дифференциация внутри развивающегося эмбриона или организма происходит согласно внутренним законам их организации, а соответствующий вход системы делает такую дифференциацию возможной только энергетически [14].

Таким образом, в соответствии с высказанными соображениями нельзя заменить понятие «система» обобщенным понятием «машина», введенным Эшби. Несмотря на то, что последнее понятие является, несомненно, более широким по сравнению с классическим («машина – система с фиксированным порядком частей и процессов»), возражения против «машинной теории» жизни остаются в силе [14].

Следующий этап в развитии ОТС часто связывают с именами Месаровича и Такахару [1]. Они формально определяют систему S , заданную на семействе множеств $\{V_i; i \in I\}$ (I – множество индексов), как некоторое собственное подмножество декартова произведения множеств $\{V_i; i \in I\}$:

$$S \subset \times \{ V_i; i \in I \}, \quad (1)$$

причём все компоненты декартова произведения $\times V_i$ называются *объектами* системы S . При этом они тут же уточняют, что в основном будут интересоваться системами с двумя объектами – входным объектом X и выходным объектом Y :

$$S \subset X \times Y. \quad (2)$$

Хотя в своих определениях авторы никак не уточняют сам термин «объект», из них ясно, что речь идет просто о «термине-метке» для некоторой «общесистемной» переменной, вместо которой может использоваться то или иное множество типа V_i . Иными словами, под «объектом» в (1) и (2) на самом деле понимается некоторое множество элементов или, говоря общепринятым языком, некоторая совокупность объектов любой природы – как абстрактно-математической, так и, вероятно, физической, то есть некоторое множество реальных объектов или их абстрактных (математических) представлений. Со-

гласно классическим математическим представлениям, подмножество декартова произведения двух множеств типа (2) определяет некоторое бинарное отношение на них. Поэтому далее авторы обосновывают используемые ими для описания систем теоретико-множественные отношения следующим образом: «Система определяется в терминах её наблюдаемых свойств или, точнее говоря, в терминах взаимосвязей между этими свойствами, а не тем, что они на самом деле собою представляют (то есть не с помощью физических, биологических, социальных и других явлений)». Таким образом, авторы как бы заменяют определение системы в терминах «некоторого набора выходных реакций (выходных объектов системы) на определенные входные воздействия (входные объекты)» на кажущуюся им эквивалентной фразу в терминах «набора её (системы) наблюдаемых свойств», точнее – в терминах «взаимосвязей между этими свойствами» для соответствующих входных и выходных объектов. Действительно, довольно часто свойства объектов (включая и такие объекты, как системы) формально представляют в виде набора n -арных предикатов, определяющих отношения на декартовых произведениях (той же n -ной кратности) соответствующих множеств.

Например, мы можем говорить о некотором свойстве z , связанном с двумя объектами x_i и y_j , если истинен соответствующий двухместный предикат P_Z (формально как бы «кодирующий» наше внутреннее, неформальное представление о свойстве z), то есть:

$$P_Z(x_i, y_j) = \text{TRUE}. \quad (3)$$

Запись (3) с математической точки зрения вполне закономерно интерпретируется как задание бинарного отношения P_Z на некотором множестве пар объектов $\{x_i, y_j\}$, где $x_i \in \mathbf{X}$, $y_j \in \mathbf{Y}$ – то есть на некотором подмножестве декартова произведения двух множеств $\mathbf{X} \times \mathbf{Y}$. Таким образом, с формальной (и как минимум упрощенной) точки зрения можно действительно говорить, что представление систем в виде (1) и (2) позволяет изучать некоторые их свойства. Однако такой формализм представления свойств, как показывают продолжающиеся

дискуссии и интенсивные исследования в этой области, по крайней мере, неполноценен и не отражает реально то, что мы действительно включаем в понятие свойства [5].

Первоисточник этой формальной неполноценности – отсутствие четкого определения смысла термина «свойство объекта» (или системы объектов).

Аналогичные трудности возникали и у Р. Эшби, для преодоления которых он, во-первых, связал это понятие в первую очередь с динамикой изучаемых систем, во-вторых, акцентировал внимание на неформализуемости концепции эмерджентных свойств, важность которых во внутри- и межсистемных взаимодействиях подчеркивается многими учеными [5].

Понимая ограниченность своего базового подхода, выраженного в формуле (1) и приводящего часто к чрезмерному упрощению картины, авторы далее пытаются ввести некоторые корректировки и уточнения, сохранив при этом возможность использования заявленного в (1) математического аппарата для исследования систем. Так, они – вслед за Эшби – вновь обращаются к максимально широкой трактовке в рамках ОТС термина «механизм», как к эквиваленту слов «функция» или «отношение» и определяя его (математически) «как множество, т.е. как совокупность всех правильных комбинаций его компонент». Они также уточняют понятие объекта системы, порождаемого переменными, задающими систему с помощью «некоторых уравнений», отмечая, что при этом «система есть такое отношение над соответствующими объектами системы, порожденными этими переменными (по одному объекту на каждую переменную, область значений которой он представляет), что любая комбинация элементов этих объектов, принадлежащая этому отношению, удовлетворяет входной системе уравнений» [5]. Таким образом, в трактовке авторов под объектами, определяющими (составляющими) систему, могут пониматься не только некие физические (реально существующие) объекты, но и некоторые абстрактные математические объекты-переменные, представляющие некоторую область значений.

Наконец, для развития своей базовой концепции с целью создания возможности для построения какой-либо теории, авторы предлагают наделить систему (1), как отношение, «некоторой дополнительной структурой», а именно:

– (i) ввести дополнительную структуру для элементов объектов системы, рассматривать сам элемент $v_i \in V_i$ как некоторое множество с подходящей структурой;

– (ii) ввести структуру непосредственно для самих объектов системы $V_i, i \in I$.

Первый путь приводит к понятию (абстрактных) временных систем, а второй – к понятию «алгебраической системы». Отметим, что алгебраической системой называется тройка $U = \langle A, \Omega_F, \Omega_P \rangle$, где A – основное множество системы U ; Ω_F – множество операций, определенных на A , и Ω_P – множество предикатов, заданных на множестве A .

Далее авторы рассматривают только один из вариантов развития концепции (1)-(i) – именно тот, который они определили как временные системы, то есть такие, в которых элементами одного из объектов системы являются функции времени. Другие возможные пути развития концепции (1)-(i) при этом никак не оцениваются и не анализируются. Более того, именно временным системам, как подчеркивают сами авторы, в основном и посвящен основной материал книги. Что же касается второй концепции (1)-(ii), то относительно неё имеется лишь краткое замечание, касающееся определения на V «одной или нескольких операций, относительно которых V становится алгеброй» [5], при этом в качестве примера рассматривается алгебра всех возможных слов из алфавита (иначе – из множества производящих элементов) $W \subset V$ с бинарным отношением $R: V \times V \rightarrow V$, то есть с операцией сочленения слов. Авторы тут же отмечают, что в более общем случае «...объект V задается некоторым множеством элементов W , называемых примитивными, некоторым множеством операций $R = \{R_1, \dots, R_n\}$ и правилом, согласно которому V содержит, во-первых, все примитивные элементы..., а кроме этого, и все элементы, которые мо-

гут быть получены из примитивных в результате многократного применения операций из R ».

Далее авторы (в полном соответствии со сделанными ими декларациями) строят математические основы общей теории систем с использованием, прежде всего, аппарата теории множеств и математической логики, вводят и исследуют такие понятия и концепции, как глобальные состояния и глобальная реакция системы, линейные системы, динамические системы, статистические системы и системы без памяти, стационарные динамические системы, пространство состояний, неупреждаемость, предопределенность, реализуемость, автоматы, стационарность и инвариантность во времени, управляемость, устойчивость, соединение и декомпозиция систем (в том числе функциональная декомпозиция), автономность, вычислимость, непротиворечивость, полнота, категории систем и др. Изучаемые при этом свойства систем оказываются чрезвычайно общими, иногда трудно интерпретируемыми с математического языка и касаются в первую очередь самых фундаментальных особенностей преобразования множеств состояний различных систем, а не отдельных тонких деталей этих процессов, которые могли бы прояснять важные моменты и механизмы поведения или структурной организации реальных систем, например, возникновение самовоспроизводящихся ансамблей молекул на начальных этапах биоэволюции или особенности структурной организации многофункциональных систем в тех или иных технологиях и т.д. и т.п. То есть свойства систем относятся в первую очередь к свойствам математических структур, на основе которых строятся общие модели систем, и никак не позволяют оценить особенности конкретной технической (технологической) их реализации. То есть можно с достаточной уверенностью утверждать, что Месарович и Такахара в своей математической интерпретации ОТС пропустили ряд тонких деталей, связанных с физической реализацией систем [5].

Таким образом, на самом деле концепция формального описания систем в виде (1) или (2), во-первых, как минимум упрощает реаль-

ную ситуацию (что для изучения общих свойств систем иногда даже полезно), и, во-вторых, заведомо искажает реальную картину с точки зрения всех возможных свойств конкретной системы и характера их изменений, в чём вынуждены в какой-то степени признаться и сами авторы, вводя уточнения (i) и (ii).

Весьма оригинальный метод аналитико-синтетического исследования систем и управления этими системами предложил известный американский учёный и инженер Г. Крон [16]. Этот метод предназначен для изучения механических, биологических и экономических систем. Сущность метода заключается в том, что сложная система по строго определенным правилам расчленяется на некоторое число подсистем, компонентов, и на этой базе строятся топологические модели-графы исходной системы. Анализируется каждая из вычлененных подсистем, для каждой из них находится решение. Затем частные решения, решения относительно вычлененных подсистем, синтезируются, сочленяются с использованием аппарата тензорного и матричного исчисления. В результате формируется модель общего решения. Способ разделения систем на части с использованием математического аппарата разрабатывался и советскими учеными. Для определения собственных частот этот способ использовал Ф.М. Диментберг; для изучения цепных систем – В.П. Терских, метод которого получил название метода цепных дробей; на более широкий класс систем метод цепных дробей распространил В.К. Допдошанский. В.А. Троицкий использовал матричные методы в исследовании свойств сложных систем по свойствам их частей и т.д. [16].

«Целью настоящей книги, – пишет Г. Крон, – является изложение систематического метода анализа, а также и решения некоторого класса задач по частям с помощью метода расчленений для систем с очень большим числом переменных. Физическая или экономическая система (или её схематическая топологическая модель) разделяется на соответствующее число малых подсистем, затем каждая подсистема анализируется и рассчитывается отдельно, как если бы остальные подсистемы не существовали, затем частные решения соединяются шаг за шагом до тех пор, пока не будет получено решение для всей системы».

Расчленяемые системы могут быть линейными или нелинейными, статическими или динамическими. Это могут быть системы физические, технические, человеко-машинные, экономические. Решения могут быть получены как точные, так и приближенные.

Подсистема, которая получается в результате последнего из членений, выступает как «элементарная система». Анализ, как правило, выполняется в несколько последовательных приёмов до тех пор, пока не достигнет подсистемы, которая может быть описана уравнениями.

Затем осуществляется обратный процесс – движение мысли от уравнений простой подсистемы к разработке уравнений сложной системы путем стандартных преобразований. Правила преобразований уравнений простой системы в уравнения системы более сложной дает тензорный анализ [16]. Достоинство тензорного анализа перед векторным состоит в том, что тензоры способны выражать задачи практически с любым числом переменных. Среди тензоров особое место занимает тензор преобразования, или соединения, который выступает посредником между двумя системами координат.

Тензор позволяет увязать, соединить две точки зрения на исследуемый предмет, достичь взаимопонимания, согласования результатов. Благодаря этому предмет (явление) рассматривается более широко. Тензорный анализ позволяет отделить субъективное в изучении явления, связанное с позицией ученого (в том числе с выбором той или иной системы координат), от объективного, т.е. от объективной реальности, которая не зависит от точки зрения, от системы координат.

Весьма важное место в построениях Г. Крона занимает понятие «сеть». Хотя оно и предложено учёным для описания, прежде всего, технических систем, это понятие может быть использовано и в социальном познании, и в практике [17].

Сеть – это система, совокупность объектов-блоков, в которых преобразуются различного рода потоки (прежде всего, потоки энергии). Эти блоки могут быть как источниками, так и потребителями энергетических потоков, которым присуща определенная размерность мощности. Блоки сети связаны посредством потоков, вследствие чего сеть об-

ладает структурой, внутренней организацией, то есть необходимыми системными качествами. Блоки сети Г. Крона расположены в виде иерархической пирамиды, что соответствует иерархическому строению в действительности. Пирамидальная сеть Г. Крона как бы связывает блоки и проходящие по ним потоки как по горизонтали (на одном уровне иерархии), так и по вертикали (на различных уровнях иерархии). Этим самым теория сетей Г. Крона выступает как многомерный язык, отражающий многомерность, пирамидальность реальности [18].

Диакоптика Г. Крона предполагает изучение сложных систем путем разделения по частям и изучения частей, отражение частей, подсистем в относительно простых скалярных уравнениях.

При этом проводится ряд логико-математических операций:

1. Обычное арифметическое уравнение распространяется на большее число аналогичных ситуаций посредством замены каждого числа алгебраическим символом.

2. Уравнение, записанное для системы с одной или несколькими степенями свободы, распространяется на системы с n -степенями свободы посредством замены каждого алгебраического символа соответствующей n -матрицей.

3. Путем замены каждой n -матрицы соответствующим скалярным символом матричное уравнение, записанное для одной системы, распространяется на большее число систем, имеющих одинаковые системы координат.

4. (Заключительная). Инвариантное уравнение, записанное для бесконечного числа систем с простыми типами системы координат, обобщается на более сложные типы координат путем замены каждого скалярного символа соответствующим тензором.

Все эти логические операции, в основе которых лежат соответствующие постулаты, помогают сократить и упростить путь анализа системы и, в конечном счете, отразить её в форме многомерных показателей, топологической модели [18].

Диакоптика Г. Крона позволяет проводить и пространственные преобразования множества равновеликих объектов [16].

Диакоптика использует не только уравнения и матрицы, описывающие системы, но и граф-топологическую модель («портрет», по терминологии Г. Крона) данной системы. Этот «портрет» является основным и важным источником информации, которая позволяет быстрее составить и решать уравнения и тем самым уточнить «портрет» до той степени схожести с оригиналом, которая позволяет эффективно работать с системой (конструировать или создавать её, управлять ею и т.п.). Граф-топологические модели дают возможность более эффективно использовать электронно-вычислительные машины [18].

Известно, что в ту или иную систему порой объединяются самые различные подсистемы, подчас кажущиеся далекими друг от друга. В точках, узлах объединения образуются новые силы, которых до воссоединения не было. «Главная цель диакоптики, – полагает Г. Крон, – состоит в том, чтобы заставить в явном виде работать силы связи, которые бывают скрыты при обычных подходах» [16].

Арсенал математических средств, используемых в диакоптике, разнообразен. Диакоптика, положив в основу метод решения системной проблемы по частям, объединяет возможности теоретико-множественной топологии (теории функций, дифференциальных уравнений и т.п.) и комбинаторной топологии (цепей, соединений, точек пересечений, иерархически построенных систем и т.п.) в единый метод анализа и проектирования сложных (прежде всего инженерных) систем.

Этот синтез осуществляется посредством целого ряда математических дисциплин:

1) тензорного анализа, который позволяет при наличии небольшого числа зависимостей, выраженных в уравнениях, описывать сложнейшие системы;

2) матричного анализа, который дает возможность при разработке программ для ЭВМ вводить в них практически неограниченный объем информации (все дело в машине, в объеме её памяти);

3) теории электрических цепей, позволяющей наглядно, графически представить абстрактные математические выкладки n -уравнения;

4) теории расчленения и объединения топологических моделей, которая способна подразделять и системы, и решения относительно систем на сравнительно легко выполняемые этапные, частичные решения.

Самое главное достоинство диакоптики состоит в том, что она позволяет создать миниатюрную модель данной системы посредством наиболее экономного описания структуры – ключевой цепи пересечений [18].

Роберт Розен обращает внимание на существование двух принципиально разных наборов свойств систем, изучаемых в ОТС, во-первых, свойств, проистекающих из физичности объектов исследуемой системы, которые, как правило, никак не представлены в существующих формальных описаниях, и, во-вторых, свойств, связанных с логическими (т.е. математическими) свойствами самой системы, которые можно «вычислить», анализируя формальное математическое представление [5]. В значительной степени обосновал правоту такой точки зрения и на многих фактических примерах продемонстрировал неэквивалентность этих двух разновидностей системных свойств Георгий Кампис [20].

Следующей серьезной публикацией по ОТС можно выделить работу Дж. Клира [19]. Свою книгу он назвал «Architecture of Systems Problem Solving», что более точно можно перевести как «Архитектура решения системных задач» [5].

Дж. Клир строит изложение материала как разработку концепции «Универсального решателя системных задач» – УРСЗ, ссылаясь на который, а также на точку зрения В. Гейнса, он приводит следующее неформальное (и предварительное) определение системы:

Система эпистемологического уровня 0 – это то, что рассматривается исследователем как система... В структуре УРСЗ система эпистемологического уровня 0 определена через множество переменных, множество потенциальных состояний (значений), выделяемых для каждой переменной, и некий операционный способ описания смысла этих состояний в терминах проявления соответствующих атрибутов данного объекта.

Разумеется, первая часть определения не может выступать в качестве формального, поскольку явным образом указывает на свою зависимость

от субъективной точки зрения самого экспериментатора на то, что он понимает под системой. Однако вторая часть, связанная с УРСЗ, демонстрирует явную корреляцию с общими определениями Л. фон Берталанфи, Р.Эшби, а также вариантами (1)-(i) и (1)-(ii) Месаровича и Такахару.

Отметим в определении упоминание об атрибутах системы, как о некоей попытке уйти от многозначности и неточности термина «свойства системы», поскольку атрибут в контексте УРСЗ предполагает наличие у системы какого-то вполне конкретного свойства, которое может быть формально представлено в виде некоего параметра (т.е. в виде некоторой символьной или числовой переменной или константы) при описании в УРСЗ.

Далее Дж. Клир перебрасывает мостики между своим определением системы и рассмотренными ранее общими определениями систем типа (1), разделяя переменные на входные и выходные и вводя совокупность состояний, образуемых параметрическим множеством. При этом он отмечает, что в качестве параметров чаще всего выступают «время, пространство и различные совокупности объектов одного типа (социальные группы, группы стран, продукция одного типа и т.д.)» [19].

Системы нулевого уровня Дж. Клир называет исходными. На других – более высоких уровнях – «системы отличаются друг от друга уровнем знаний относительно переменных соответствующей исходной системы» [19].

Таким образом, концепция системы нулевого уровня оказывается базовой для всех последующих.

Далее в связи с разрабатываемой им концепцией УРСЗ Дж. Клир делает ряд чрезвычайно интересных замечаний.

Во-первых, он подчеркивает известную оторванность «чистой математики» от реальности, отмечая, что она «...занимается в основном разработкой разных аксиоматических теорий независимо от того, имеют они практическое значение или нет..., и не её цель определять, существует ли некая интерпретация теории, для которой эти (исходные) предположения истинны» [19]. При этом роль прикладной математики он сводит к методологическому обслуживанию ОТС, ука-

зывая при этом на возможность существования различных математических методик для решения одних и тех же системных задач, связывая такую возможность с возможностью математической переформулировки условий задачи в неявном (скрытом от большинства неспециалистов) виде самими математиками [5].

Во-вторых, он подчеркивает явную тенденцию современной науки к обобщению, объединению различных парадигм, которое стимулируется развитием вычислительной техники [19].

В-третьих, он особо выделяет роль вычислительной техники в качестве не только стимулирующего фактора, но и своего рода симбиотического фактора, без которого развитие ОТС практически невозможно, а также в качестве фактора, поставляющего и генерирующего для ОТС новые концепции и методы, в частности, в плане расширения общесистемного понимания термина «архитектура», как самого верхнего уровня организации любой системы [19]. Вслед за Г. Блаау, он отмечает некоторые важные общесистемные принципы, связанные с «хорошей архитектурой системы», из которых отметим следующие:

а) ортогональность и экономность функций системы (то есть независимость функций друг от друга и недублирование одной функции другой);

б) общность функций (их соответствие возможно большему числу назначений);

в) открытость (возможность использовать функции иначе, чем это предполагалось при проектировании);

г) полнота (максимальное соответствие требованиям пользователя) [5].

В-четвертых, он вновь возвращается к концепции свойства объекта, вводя для него вполне конкретный формализм.

Дж. Клир отмечает, что наше взаимодействие с объектами окружающего мира обычно ограничивается «несколькими представительными свойствами» – то есть такими, которые «...наилучшим образом описывают данный объект как явление». При этом на самом деле объекты – как реальные, так и абстрактные, – могут обладать практически неограниченным набором свойств. Для выделенных существенных

(представительных) свойств определяется процедура их измерения (наблюдения) и задается абстрактная переменная, представляющая отображение соответствующего свойства (на то или иное множество). Важным в концепции формального описания свойств объектов Дж. Клира является понятие базы, под которой он понимает любое существенное свойство, «...на самом деле используемое для определения различий в наблюдениях одного и того же свойства» [5]. В качестве примера типичной базы, пригодной практически для любого свойства, Дж. Клир приводит время. Другие примеры – пространство и группа. Эти три типа баз Дж. Клир называет основными, хотя и оговаривает возможность существования иных баз. Тем не менее, он приводит некоторые ограничения на выбор баз, отмечая, что они, во-первых, «должны быть применимы ко всем свойствам системы...», во-вторых, «базы системы должны отвечать назначению, для которого определяется данная система», в-третьих, «наблюдения всех свойств системы должны однозначно определяться базами системы...» [19]. В итоге Дж. Клир вводит следующее определение системы как объекта:

Под системой объекта понимается любой (абстрактный или реальный) объект O , представляемый следующим образом:

$$O = (\{(a_i, A_i) | i \in N_n\}, \{b_j, B_j | j \in N_m\}), \quad (4)$$

где $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$; $N_m = \{1, 2, \dots, m\}$; a_i – свойство объекта; A_i – множество проявлений свойства a_i ; b_j – база; B_j – множество элементов базы.

Как видно из (4), представления системы объекта в концепции Дж. Клира почти совпадает с (1) и (2), отличаясь от них лишь особо выделенной смысловой нагрузкой элементов a_i , представляющих свойства объекта O .

Среди других зарубежных авторов, в большей или меньшей степени использующих математические методы при построении своих концепций ОТС или близких к ней научных направлений, следует отметить работы Г. Хакена, И. Пригожина, Г. Николиса и И. Стенгерс, Г. Вунша, М.А. Арбиба, Р. Калмана, П. Фалба, О. Ланге, а также ряд других [5].

Еще один подход, возможный при рассмотрении ОТС – «Общая (или объединённая) формальная технология» (ОФТ, или просто – ФТ) [9]. Одно из основных отличий ОФТ от классических подходов – это рассмотрение даже простейших систем, состоящих всего из двух-трёх объектов, не как фиксированной данности, а с учётом возможных процессов получения (синтеза) таких систем из соответствующих простых («элементарных») объектов, обычно называемых элементами базы. Этим самым как бы автоматически вводится учёт п. 4 на стр. 7 параграфа 1 данного обзора о запрете анализа системы без учёта её взаимосвязи с окружающей «средой», включая – в случае ОФТ-подхода – возможную историю её появления в этой среде. Вторым важным моментом в ФТ-подходе, как и у Крона, является расширенная трактовка символов операций, выполняемыми над объектами и их совокупностями – (называемых обычно «конструкциями»). В формально-технологическом подходе над объектами и конструкциями из них могут выполняться не только абстрактно-математические операции, но и различного рода формализованные технологические – типа синтеза – соединения объектов в одно целое, разборки объекта на более мелкие компоненты, и т.д. Наконец, третьей важной особенностью ФТ-подхода является возможность использования в системах-конструкциях разнородных (гетерогенных) объектов – как это часто имеет место в реальных технических и природных системах. Все эти особенности, как показано в [9], позволяют в итоге выйти за рамки традиционного (классического) теоретико-множественного подхода к ОТС.

Важной частью ФТ-подхода является также формально-технологическая теория свойств и функциональностей объектов, которая предполагает выполнение следующих постулатов:

а) конструкции (т.е. системы объектов) могут состоять из разнородных (гетерогенных) объектов;

б) объекты, составляющие систему, могут иметь функциональные свойства, обеспечивающие их взаимодействие в рамках сформированной из них же системы, причём эти свойства не обязательно должны отображаться только на количественную шкалу [9]. (Послед-

нее связано с тем, чтобы объекты могли проявлять возможные неколичественные, «нечисловые» свойства.)

В качестве объекта ОФТ могут быть выбраны любые реальные или воображаемые элементы и узлы зданий и сооружений, конструкций и изделий, любые реальные или воображаемые вещества, находящиеся в любом состоянии, любые информационные объекты, представленные любыми типами и формами сигналов (цифровых и аналоговых, электрических и пневматических, гидравлических и световых и т.д. и т.п.), разнородные (гетерогенные) «смеси» таких объектов и т.д. Под объектами ОФТ может пониматься всё, к чему могут быть применены «технологические операции» – то есть операции, тем или иным образом влияющие на сами объекты, и/или их свойства, или/и на их взаимное расположение [9].

Большое значение в ОФТ уделяется функциональностям объектов. Термин «функциональность» для ОФТ определяется как свойство объекта, позволяющее изменять его состояние при взаимодействии с другими объектами при их физическом сближении или соединении.

Согласно ОФТ, эмерджентное свойство объекта – это свойство, которое отсутствовало на предыдущих шагах технологии в тех объектах, из которых был получен данный объект. Функциональная эмерджентность позволяет получать новые объекты с новыми (эмерджентными) функциональными свойствами в рамках рассматриваемой технологии. При этом возможен вариант, когда наблюдается новый сложный тип поведения (например, самовоспроизведение), сформированный, однако, не эмерджентной, но достаточно нетривиальной функциональностью.

В рамках ОФТ рассматривается не только возможность работы с исходными (базовыми) объектами, определенными в какой-либо фиксированной технологии (с заданным набором технологических и аналитических операций), но и условия формирования и развития так называемых эволюционных технологий (ЭТ). При этом под ЭТ понимается такая технология Т, в которой средствами самой технологии

возможно получение бесконечного числа новых конструкций, отличных от полученных ранее, причём это отличие для всех новых конструкций определяется исключительно средствами самой технологии Т.

На сегодняшний день в рамках ОФТ удалось доказать ряд формальных положений о существовании определённых закономерностей как в свойствах большой группы различных технологий, включая математику, так и в особенностях их использования, развития и познания. То есть удалось строго и на формальном уровне подтвердить предположения Богданова и Берталанфи об изоморфизме некоторых фундаментальных общесистемных законов в различных (технологических) областях при неизоморфности их материалистических воплощений.

Вторым важным итогом ОФТ-подхода к анализу систем являются результаты, касающиеся возможных путей и процессов самоорганизации и эволюции биоподобных систем. Используя ФТ-версию теории свойств и функциональностей объектов, удалось формально доказать существование реальной связи между информацией, описывающей структуру объектов, их энтропией и потенциальной способностью соответствующих систем объектов к образованию самовоспроизводящихся структур. В рамках этого же направления удалось показать применимость ФТ-принципов к анализу особенностей эволюции как простейших биоподобных систем, так и более сложных системных образований – социальных, общественных и экономических.

Наконец, важной самостоятельной ветвью ФТ-подхода к ОТС можно считать теорию гетерогенных слабоструктурированных самосинхронных автоматов с индивидуальными именами объектов, одним из первых результатов которой явилось формальное доказательство существования гетерогенных автоматов с изоморфизмом на уровне их графов и с неизоморфной реализацией на уровне объектов, образующих автомат. Этот результат дополнительно подтверждает справедливость предположений Богданова и Берталанфи о возможности

реализации взаимоподобных (изоморфных) процессов с помощью различных (т.е. неизоморфных) материальных систем.

Тесно перекликается с ОФТ и объектно-ориентированный подход, используемый при анализе и построении моделей сложных информационных и информационно-технологических систем. Согласно [26], основой такого объектно-ориентированного анализа является «...информационная модель, где объекты отображаются вместе с характеристиками, или атрибутами». При этом абстрактное представление объектов в ООП оказывается очень близким к абстрактному описанию объектов в ОФТ, что позволяет легко переносить результаты, полученные в ОФТ, в среду, поддерживающую объектно-ориентированное программирование. Связи, которые свойственны объектам, представляются..., как соединения между объектами [26]. В ООА каждый объект и связь может иметь жизненный цикл – схему поведения, фактически указывающую, какой тип функциональности поддерживается объектом на том или ином шаге его существования. По сути дела это – расширенный вариант описания поведения (функциональности) объектов на различных этапах его «жизни», аналогичный описанию объектов и их функциональностей в ОФТ, чем, собственно, и объясняется та лёгкость, с которой результаты, полученные в ОФТ, переносятся в объектно-ориентированную среду программирования и наоборот – полученные в ООП факты легко поддаются интерпретации и толкованию в рамках ОФТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая теория систем (ОТС) и системный анализ – два неразрывных аспекта наиболее современного теоретического подхода к изучению систем. В каком-то смысле системный анализ можно считать важной составляющей ОТС, поскольку без анализа невозможны ни целенаправленный синтез систем с заданными свойствами, ни понимание многих важных и скрытых особенностей их функционирования.

Рассмотренные в данной брошюре вопросы, конечно же, не исчерпывают все нюансы и многочисленные точки зрения на ОТС. Они призваны лишь дать читателю самые общие и, по возможности, достаточно широкие представления об ОТС и системном анализе, как о быстро развивающемся общенаучном подходе, призванном объединить многочисленные усилия человечества в данном направлении. Сбудутся ли эти намерения – решать, конечно же, самим читателям. По крайней мере, авторы приложили максимум усилий, чтобы сделать это пособие предельно сжатым, сохранив его максимально полезным для тех, кто специализируется в подобных попытках системных и системно-аналитических исследований в разных областях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
2. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: учебное пособие. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.
3. Малинецкий Г.Г., Курдюмов С.П. Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие. – М.: Наука, 2002. – 478 с.
4. Янг С. Системное управление организацией (пер. с англ.). – М.: Советское Радио, 1972.
5. Крылов С.М. Формально-технологический анализ и синтез универсальных программно-управляемых информационных и технологических систем. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Самара: СамГТУ, 2005.
6. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). – 3-е изд. – Москва-Берлин, 1925-1929. – Т. 1-3.
7. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: учебное пособие. – СПб.: «Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
8. Л. фон Берталанфи. Общая теория систем – обзор проблем и результатов. Системные исследования // Ежегодник. – М.: Наука, 1969.
9. Крылов С.М. Формальная технология и эволюция. – М.: Машиностроение 1, 2006. – 384 с.
10. Heylighen F. What is Systems Theory? “Principia Cybernetica Project”, 1992. <http://pespmc1.vub.ac.be/>
11. Joslyn C., Turchin V. System. “Principia Cybernetica Project”, 1993. <http://pespmc1.vub.ac.be/>
12. Турчин В.Ф. Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. Изд. 2-е – М.: ЭТС. – 2000. – 368 с.
13. Винер Н. Кибернетика: управление и связь в животном и машине (второе издание). – М.: Наука, 1983. – 344 с.
14. L. von Bertalanffy. General System Theory – A Critical Review, «General Systems», vol. VII, 1962, p. 1-20.
15. Росс Эшби Уильям. Введение в кибернетику: Пер. с англ. / Под ред. В.А. Успенского. Предисл. А.Н. Колмогорова. – Изд. 2-е, стереотипное. – М.: КомКнига, 2005. – 432 с.
16. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика. – М.: Советское Радио, 1972.
17. Крон Г. Тензорный анализ сетей. – М.: Советское Радио, 1978.
18. Афанасьев В.Г. Общество: системность, познание и управление. – М.: Политиздат, 1981. – 432 с.
19. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
20. Kampis, G. Self-Modifying Systems in Biology and Cognitive Science. Oxford, Pergamon, 1991. – 544 p.

21. Садовский В.Н. Система. Алфавитный каталог статей. Электронный ресурс: <http://www.bse.chemport.ru/>
22. Энциклопедический словарь. Электронный ресурс: <http://www.tssbio.ru>
23. Юдин Б.Г. Системный анализ. Алфавитный каталог статей. Электронный ресурс: <http://www.bse.chemport.ru/>
24. Системный анализ и моделирование. Электронный ресурс: <http://www.deloadvert.com/>
25. Википедия. Электронный ресурс: <http://www.ru.wikipedia.org/>
26. Шлеер С., Меллор С. Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях. Пер. с англ. – К.: Диалектика, 1993. – 240 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основы системного анализа	3
2. Некоторые подходы и основные результаты в развитии общей теории систем	9
3. Математические аспекты общей теории систем	17
Заключение	38
Библиографический список	40

Учебное издание

Введение в общую теорию систем и системный анализ

ЗОЛОТОВ Владимир Петрович,

КРЫЛОВ Сергей Михайлович,

САРАЕВ Михаил Владимирович

Редактор Ю.А. Петропольская

Верстка И.О. Миняева

Выпускающий редактор Н.В. Беганова

Подписано в печать 05.12.09.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. п. л. 2,38. Уч.-изд. л. 2,36.

Тираж 50 экз. Рег. №313/09.

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8