

В.Н. КАЛИНИН
**МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ТЕОРИИ
СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Калинин В.Н. Морфологический анализ проблематики теории системных исследований.

Аннотация. В статье рассмотрена структура проблематики теории системных (системно-кибернетических) исследований. Результаты соответствующего морфологического анализа представлены в виде морфологического дерева, содержащего четыре ветви (моделирование–анализ–наблюдение–выбор) и 57 листьев — частных задач.

Ключевые слова: системно-кибернетические исследования, морфологический анализ, система, среда, системный подход, кибернетика, динамическая система, состояние, моделирование, наблюдение, выбор, управление.

Kalinin V.N. The morphological analysis of the system researches theory problematics.

Abstract. In the article the structure of a problematic of the theory of system (system-cybernetic) researches is considered. Results of the corresponding morphological analysis are presented in the form of the morphological tree containing four branches (modeling–the analysis–observation–a choice) and 57 leaves — individual tasks.

Keywords: system-cybernetic researches, the morphological analysis, system, environment, the system approach, cybernetics, dynamic system, a condition, modelling, observation, a choice, management.

1. Тенденции интеграции научных знаний и формирование системно-кибернетических представлений. Система научных знаний, начиная с глубокой древности и до нового времени, развивалась в основном как единая философская наука, носящая энциклопедический характер. Круг научных интересов выдающихся мыслителей этого периода исключительно широк. Так, научные исследования Аристотеля были посвящены проблемам логики, физики, биологии, оптики, социальной политики, истории, искусства, поэзии, риторике. Выдающимися энциклопедистами были великий Леонардо да Винчи, И. Ньютон, Г. Лейбниц, М.В. Ломоносов и другие ученые прошлого.

Однако, по мере накопления знаний и расширения сферы научных исследований, обусловленного требованиями общественной практики, начиная с XVIII века, в развитии науки все более отчетливо стала проявляться тенденция дифференциации знаний, выражающаяся в увеличении количества отдельных наук и в ослаблении связей между ними. В настоящее время этот процесс продолжается — он объективно отражает внутреннюю динамику развития системы научных знаний в условиях современного «информационного взрыва», когда объем научной информации удваивается каждые 10–15 лет.

Очевидны негативные последствия процесса дифференциации — «барьеры» специализации, затруднения в обмене опытом научных исследований, проблемы подготовки специалистов. Поэтому одновременно с процессом дифференциации в развитии научных знаний, начиная с конца XIX века, в общенаучной методологии стала проявляться тенденция интеграции знаний, в основе которой лежали следующие три идеи:

- формирование бинарных междисциплинарных (иначе гибридных) наук (например, физической химии, физико-химической биологии, астроботаники и др.);
- возникновение частных интегральных наук (таких, как теория автоматического управления, теория игр, теория принятия решений (на Западе — исследование операций), теория оптимального управления и др.);
- формирование во второй половине XX века нового интеграционного научного направления — теории системных (точнее системно-кибернетических) исследований, основу которых составили такие фундаментальные обобщающие понятия и концепции, как система, среда, концепция системного подхода, кибернетический подход академика А.И. Берга и математические конструкции Н. Бурбаки.

Рассмотрим последнее направление более подробно.

2. Предмет системных (системно-кибернетических) исследований. Системно-кибернетическая методология как одна из трех основ прикладных научных исследований. Развитие системных представлений с учетом требований научно-технической революции во второй половине XX века привело к формированию фундаментального понятия динамической системы и соответствующей концепции кибернетического подхода к исследованию реальных объектов материальной культуры, основанного на рассмотрении этих объектов как динамических систем, «погруженных» в управляющую и возмущающую среды. Важную роль при этом сыграло введенное академиком А. Бергом определение кибернетики как *«науки об оптимальном управлении сложными динамическими системами»*. Он называл кибернетику *«наукой величайших возможностей»*.

С математической точки зрения основополагающую роль здесь сыграла теория математических структур Н. Бурбаки, которая позволяет адекватно и конструктивно формализовать соответствующие системные и системно-кибернетические представления.

В результате этого рассматриваемое направление интеграции в современной науке позволило с единых позиций объединить проблематику и методологию частных интегральных наук (таких, как исследование операций, теория игр, теория принятия решений и др.) на основе тезауруса, концепций и математических конструкций **триады фундаментальных источников**:

- **общей теории систем** — понятия системы и среды, концепция системного подхода;
- **кибернетики по академику А.И. Бергу** — понятия динамической системы, управляющей и возмущающей среды, оптимального выбора управляющего воздействия;
- **теории математических структур Н. Бурбаки** — концепция и математическое определение математической структуры, которая в данном случае может рассматриваться как наиболее общая формальная модель системы и среды, а также математическая конструкция, лежащая в основе постановки задач системного исследования.

Обобщение этих концептуальных и математических взглядов во второй половине XX века позволила Р. Калману разработать математическую модель динамической системы как отражение причинно-следственных закономерностей реального мира, ввести фундаментальное понятие состояния динамической системы, сформулировать проблемы наблюдения состояния и оптимального управления динамической системой.

Соответствующие системные взгляды удивительным образом оказались гармонично согласованными с бурным развитием в послевоенный период математического инструментария, связанного с исследованием сложных математических задач оптимального выбора, не поддающихся классическим методам решения. Особо важную роль здесь сыграли работы акад. Л.С. Понтрягина (принцип максимума), Р. Беллмана (принцип оптимальности) и др.

Все это позволяет говорить о становлении во второй половине XX века нового фундаментального направления в современной науке, которое может быть названо **теорией системных (точнее, системно-кибернетических) исследований**.

Исходя из приведенных взглядов и положений, уточним предмет системных исследований.

Предметом теории системных (системно-кибернетических) исследований является изучение структуры и общих закономерностей функционирования систем любой материальной природы,

общих свойств этих систем и разработка методов управления ими на основе соответствующих концептуальных и математических моделей.

Это фундаментальное направление занимает важное место в современной науке. Если раньше прикладные (в том числе технические) науки базировались на двух основах – фундаментальных (естественных и гуманитарных) науках и математике, то теперь к ним предлагается добавить, в качестве *третьей основы (третьего «кита»)*, системно-кибернетическую методологию.

При этом в качестве общеметодологической основы сохраняется философское знание и понимание – как универсальная система наиболее общих мировоззренческих взглядов на окружающую человека действительность.

3. Основные понятия теории системно-кибернетических исследований.

3.1. Система и среда. В интересах последующего изложения уточним основные используемые далее понятия. Безусловно, основным из них является понятие *системы*. К сожалению, в научной литературе встречается несколько десятков определений этого понятия, что затрудняет понимание и ведение научных дискуссий, не говоря уже об обучении. В данной статье под *системой будем понимать целостную совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, обладающую свойствами, которые не сводятся к свойствам этих элементов и не выводятся из них.*

В этом определении существенны такие принципиальные признаки, как целостность и возможность расчленения системы на элементы, наличие взаимосвязи и взаимодействия между ними и возникновение новых свойств при объединении их в систему («целое больше суммы своих частей» — Аристотель, У. Эшби называл это свойство *эмерджентностью*). *Подсистемой* системы называется совокупность ее элементов, которая сама является системой. Система называется *сложной*, если образующие ее элементы сами являются системами.

Для каждой системы определяется соответствующая ей среда как некоторая другая система, элементы которой не входят в рассматриваемую систему, но оказывают на нее влияние или подвергаются влиянию с ее стороны.

При этом рассматриваемая система делится на три подсистемы:

- множество ее элементов, через посредство которых среда влияет на систему — *входной полюс* системы;

- множество элементов системы, через посредство которых система влияет на среду — **выходной полюс** системы;
- остальная часть системы, называемая **внутренностью** или **ядром** системы.

Представление системы в терминах «входной полюс–выходной полюс», или, более кратко, в терминах «вход–выход» называется **терминальным представлением** (от лат terminus — граница).

Введенные понятия лежат в основе важного методологического взгляда на объекты реального мира, который получил название **системного подхода** и заключается в рассмотрении исследуемых систем как систем в их взаимосвязи и взаимодействии со средой. Подобный взгляд на мир был присущ выдающимся мыслителям прошлого («*Никто не отыщет природу вещи в самой вещи, изыскание должно быть расширено до более общего*» — Ф. Бэкон, «*Я считаю, что познать части без знания целого так же невозможно, как познать целое без знания его частей*» — Б. Паскаль).

Отметим, что в тех частных случаях, когда влияние среды на систему (и наоборот) незначительно и среду можно считать отсутствующей, система называется **закрытой** (или **замкнутой**), в противном случае система называется **открытой**. Системный подход является инструментом исследования открытых систем.

3.2. Система и время. Понятие динамической системы. Важным, если не центральным, аспектом системных исследований является рассмотрение систем с учетом изменения их свойств во времени, отражающее реальную картину окружающего мира. Вначале рассмотрим некоторый фиксированный момент времени. Отвечающую этому моменту времени мгновенную обстановку на входном полюсе системы назовем **входной ситуацией**, а соответствующую мгновенную обстановку на выходном полюсе — **выходной ситуацией**. Процесс изменения входной ситуации во времени целесообразно назвать **входным процессом** или **входным воздействием** на систему. Процесс изменения выходной ситуации назовем **выходным процессом** или **реакцией** системы.

Введенные понятия позволяют ввести одно из важнейших определений теории системных исследований — определение **динамической системы**, которое имеет огромное значение для понимания сущности процессов, происходящих в системах с течением времен, и с философской точки зрения отражает важнейшие аспекты реального мира, связанные с категориями причины и следствия. Сформулируем соответствующий **принцип причинности** в виде следующих двух тезисов:

- а) выходная ситуация в любой момент времени не зависит от ситуаций, которые могут возникнуть на входном полюсе системы в более поздние моменты времени (упорядоченность причинно-следственных связей во времени);
- б) выходная ситуация в любой момент времени в будущем может быть определена совершенно точно (однозначно), если известны:
- все сведения о системе, характеризующие ее и воздействие на нее в прошлом и настоящем;
 - входное воздействие на систему в будущем (однозначность причинно-следственных связей.)

Система, которая удовлетворяет принципу причинности, называется динамической системой.

Приведенное определение отражает известную философскую концепцию детерминизма в познании окружающего человека макромира, концепцию, которой придерживались такие выдающиеся мыслители, как Ф. Бэкон, Г. Галилей, Р. Декарт, И. Ньютон, М.В. Ломоносов и др.

Наиболее последовательно эта концепция была разработана в трудах П. Лапласа применительно к задачам небесной механики, однако ее гносеологическое значение распространяется далеко за пределы механических задач, так как она отражает объективный и всеобщий характер причинности, постулирует принципиальную познаваемость мира.

Опыт показывает, что для вычисления реакции системы вовсе не обязательно знать все (!) ее прошлое и настоящее, для этой цели обычно достаточно располагать меньшей информацией — знать лишь необходимую «часть настоящего и прошлого системы» (Р. Калман). Это позволяет ввести такую важнейшую характеристику динамической системы, как её ***состояние***.

А именно, под ***состоянием динамической системы*** будем понимать совокупность её характеристик, знание которой при известном входном воздействии достаточно для однозначного определения выходной ситуации в будущем. Состояние, таким образом, является важнейшей «внутренней» (!) характеристикой системы (своеобразным «хранителем» важнейших составляющих ее предьстории). Процесс изменения состояния динамической системы называется её ***движением***.

Все системы реального макромира удовлетворяют принципу причинности и, следовательно, являются динамическими системами. Вместе с тем, в прикладных задачах нередко собственно динамические

свойства системы (эволюция состояния — движение системы, зависимость входной и выходной ситуаций от времени) выражены слабо, или вообще в эксперименте на рассматриваемом интервале времени не проявляются. В подобных случаях для описания системы могут быть использованы более простые конструкции, представляющие собой вырожденные варианты динамической системы.

Так, например, встречаются динамические системы, для которых входная и выходная ситуации изменяются во времени, но предыстория для их описания является несущественной — можно считать, состояние такой системы является неизменным во времени. Движение (изменение состояния) в данном случае отсутствует. Подобные динамические системы с одним фиксированным состоянием (системы «без памяти») целесообразно назвать *кинематическими*. Наконец, возможен и более простой случай, когда не только состояние, но и входная и выходная ситуации системы неизменны во времени, т. е. являются константами. Такие системы называются *статическими* системами.

3.3. Динамическая система и среда. Управляющее и возмущающее воздействие. Основные разновидности возмущающей среды. Уточним строение среды, в которую «погружена» динамическая система. А именно, разделим среду на две части в зависимости от степени влияния исследователя на функционирование динамической системы и введем соответствующие определения.

Целенаправленное внешнее воздействие на систему, формируемое исследователем с целью изменения состояния и выходной ситуации системы желательным образом, называется *управляющим воздействием* (или, более кратко, *управлением*). Часть среды, формирующая управляющее воздействие, называется *управляющей средой* или *управляющей системой*.

Рассмотрение реальных объектов как динамических систем под влиянием управляющего воздействия составляет сущность *кибернетического подхода* к их исследованию. При этом совокупность управляющего воздействия, движения и реакции системы называется *процессом управления*, а совокупность управляющей среды и самой системы — *системой управления*.

Движение и реакция системы при отсутствии управляющего воздействия называются *свободным движением* и *свободной реакцией*, а при наличии управляющего воздействия — *вынужденным движением* и *вынужденной реакцией*.

Часть среды, формирующая воздействие, не зависящее от управляющей системы, называется *возмущающей средой*, а соответствующей

щее воздействие — *возмущающим воздействием* (или, более кратко, возмущением). Рассмотрим *четыре типа* возмущающей среды — *детерминированную, стохастическую, целенаправленную и среду с неизвестными характеристиками*. Эти понятия в общем случае допускают неоднозначную трактовку, поэтому уточним значение каждого из этих понятий.

Начнем с определения самого простого варианта возмущений — с определения детерминированной возмущающей среды, а именно: возмущающая среда, воздействие которой на систему является полностью известным, называется *детерминированной возмущающей средой* (для сокращения будем называть эту среду средой типа *α*).

Очевидно, что в случае детерминированной возмущающей среды само понятие «возмущающая среда» оказывается излишним, т. к. априори известное возмущающее воздействие может быть включено в состав системы и соответствующую расширенную систему можно рассматривать как систему при отсутствии возмущений, т. е. как закрытую систему.

Рассмотрим более сложные варианты возмущающей среды. Первый из таких вариантов связан со случайной (стохастической) природой возмущений. Возмущающую среду, воздействие которой на систему выбирается из известного множества альтернатив (множества допустимых возмущающих воздействий) случайным образом при полностью известном вероятностном описании «механизма» этого выбора, будем называть *стохастической возмущающей средой* (средой типа *β*). Таким образом, при употреблении термина «стохастическая среда» предполагается, что множество допустимых возмущений и любые вероятностные характеристики среды заданы.

Стохастическая среда может приводить к весьма существенным затруднениям в решении задач системных исследований, однако она носит индифферентный характер, «безразлична» к целям исследователя. Вместе с тем, на практике встречаются ситуации, когда возмущающая среда преследует при формировании возмущения определенную цель. Введем соответствующее определение. Возмущающая среда, воздействие которой на систему выбирается из известного множества альтернатив (множества допустимых возмущающих воздействий) в соответствии с известной целью, называется *целенаправленной возмущающей средой* (средой типа *γ*). Таким образом, в данном случае предполагается, что множество возможных возмущающих воздействий, которыми располагает возмущающая среда, и ее цель являются заданными (как в задачах теории игр).

Все более сложные варианты возмущающей среды отнесем к четвертому типу возмущающей среды — *возмущающей среде с неизвестными характеристиками*. Иначе говоря, возмущающую среду, не удовлетворяющую ни одному из трех приведенных выше определений, назовем возмущающей средой с неизвестными характеристиками, или, кратко, — *неизвестной средой* (средой типа δ).

4. Четыре фундаментальные проблемы системных исследований и их разновидности. На основе введенных выше понятий рассмотрим теперь проблематику системно-кибернетических исследований. Анализ показывает, что при всем калейдоскопическом разнообразии огромного множества задач, возникающих при изучении тех или иных реальных объектов, каждая из этих задач может быть отнесена к одной из *четырех фундаментальных проблем*, лежащих в основе системно-кибернетических исследований. Рассмотрим эти четыре проблемы.

4.1. Первая из них заключается в построении модели изучаемого реального объекта в системно-кибернетических терминах, т. е. в виде некоторой абстрактной (в отличие от физических моделей) вспомогательной системы, находящейся в объективном соответствии с изучаемой системой с учетом ее взаимодействия со средой (управляющей и возмущающей) и позволяющей получить необходимую информацию об этой системе. Будем называть указанную модель *системной* или (применительно к задачам управления) *системно-кибернетической моделью*, а проблему ее построения — *проблемой моделирования (проблемой А)*.

При этом целесообразно выделить следующие два вида моделей реальных объектов.

А1. Концептуальные модели, которые, в свою очередь, подразделяются на два типа моделей — интуитивные (основанные на неосознаваемых человеком процессах восприятия и оценки окружающего мира) и логико-вербальные (сценарные) модели, формируемые исследователем на описательном уровне при изучении тех областей человеческой деятельности, которые не допускают адекватной математической формализации.

А2. Математические модели, которые включают в свой состав также два типа моделей — аналитические (заданные в виде математических формул) и алгоритмические (или имитационные), заданные в виде алгоритмов и программ для ЭВМ и предназначенные для выполнения системно-кибернетических исследований на ЭВМ в интерактивном режиме.

Наиболее эффективным является, безусловно, аналитическое математическое моделирование реальных объектов, так как только в этом случае при проведении последующих исследований возможно применение современных математических методов и получение достаточно общих и достоверных результатов. Точное математическое описание объекта обычно удается получить тогда, когда речь идет о физических процессах и явлениях, характеризуемых теми или иными физическими законами, допускающими строгую математическую формулировку (например, таковы законы Ньютона для процессов механического движения). При построении математических моделей универсальным инструментом является теоретико-множественный подход, основанный на идеях Г. Кантора, и его развитие — концепция и математические конструкции теории математических структур, созданной Н. Бурбаки, а также дальнейшее развитие соответствующих математических моделей на основе концепции нечетких множеств Л. Заде. Эти идеи открывают практически неограниченные возможности математического моделирования широкого класса сложных реальных объектов.

Вместе с тем, как уже указывалось, в практике системных исследований встречаются объекты, формализация описания которых наталкивается на серьезные затруднения (так называемые плохо формализуемые объекты). К таким объектам относятся, например, крупномасштабные социально-экономические, организационно-технические системы, военные столкновения, для которых характерны огромное число факторов, определяющих их развитие, и существенная неопределенность в описании соответствующих причинно-следственных связей и влияния возмущающей среды.

В подобных случаях приходится довольствоваться концептуальным уровнем моделирования, когда основным источником знаний об исследуемом сложном объекте оказываются логико-вербальные представления (с добавлением определенных количественных оценок) экспертов — специалистов по различным аспектам изучаемых процессов и явлений. Принципы и методы сбора и обработки экспертной информации с целью построения соответствующей модели, а также проведения на ее основе дальнейших исследований составляют методологическую основу специального направления в теории системных исследований, которое получило название *системного анализа*. Соответствующие модели назовем *системно-аналитическими* моделями.

Очевидно, что вид и содержание системно-кибернетической модели будет зависеть от характера возмущающей среды. Исходя из приведенной выше классификации разновидностей возмущающей среды,

то можно выделить 8 морфологических разновидностей соответствующих концептуальных и математических моделей **A1 α** , **A1 β** , **A1 γ** , **A1 δ** , **A2 α** , **A2 β** , **A2 γ** , **A2 δ** .

4.2. Вторая из четырёх указанных проблем заключается в исследовании свойств, присущих рассматриваемой системе. Будем называть ее *проблемой анализа (проблемой В)*. В этой проблеме, в свою очередь, целесообразно выделить следующие три подпроблемы.

V1. Анализ структуры системы. Предметом анализа структуры системы является исследование взаимосвязи образующих систему элементов как друг с другом, так и с окружающей средой. При этом исследуются такие характеристики системы, как ее конфигурация, связность, однородность или неоднородность образующих систему элементов, строение её полюсов (входного и выходного), внутренности (ядра) системы, взаимосвязи полюсов со средой, полюсов с внутренностью системы и т. п.

V2. Исследование свободных движений и реакций системы. Здесь имеется в виду изучение поведения и свойств динамических систем, проявляющихся во времени при отсутствии управляющего воздействия и обусловленных различными начальными ее состояниями и влиянием возмущающих воздействий. Наиболее существенными из подобных свойств являются: устойчивость системы (по Лагранжу, по Ляпунову), ее наблюдаемость (по Калману), идентифицируемость среды (возможность оценки её параметров на основе исследования свободного движения и реакции системы) и др.

V3. Исследование вынужденных движений и реакций системы. При исследовании динамических систем существенный интерес представляет изучение движений и реакций системы, обусловленных формируемыми исследователем управляющими воздействиями, включая и специальные (пробные или эталонные) воздействия. Центральное место при этом занимает анализ так называемых множеств достижимости, исследование топологической структуры которых позволяет оценить такие свойства системы, как управляемость (по Калману), чувствительность и др.

Все три указанные подпроблемы анализа (кроме первой) приобретают специфические черты в зависимости от типа возмущающей среды, в которую “погружена” исследуемая система. В связи с этим целесообразно различать 9 морфологических вариантов проблемы анализа: **V1**, **V2 α** , **V2 β** , **V2 γ** , **V2 δ** , **V3 α** , **V3 β** , **V3 γ** , **V3 δ** .

4.3. Третья проблема системно-кибернетических исследований связана с оцениванием состояния динамической системы (как правило,

недоступного непосредственному измерению) в заданный момент времени на основе регистрации (непосредственной фиксации, измерения) и исследования реакции системы.

Эта проблема получила название *проблемы наблюдения состояния динамической системы* и имеет самые разнообразные и важные приложения, связанные с оценкой априори неизвестного состояния системы по косвенным, внешним данным и признакам. Будем называть ее кратко *проблемой наблюдения (проблемой С)*.

Соответствующие задачи широко распространены как в современной технике (например, задачи технической диагностики, задачи определения параметров движения разнообразных подвижных объектов на основе обработки доступных измерению величин, демодуляция и декодирование сигналов и т. п.), так и в других областях человеческой деятельности (например, задачи медицинской диагностики, детективные расследования, оценка состояния противника по данным разведки в практике ведения боевых действий, оценка психофизиологических характеристик человека на основе специальных тестов, оценка и прогноз геофизической и экологической обстановки, геологическая разведка и т. п.), связанных с определением причин того или иного явления по известным последствиям.

Основной целью решения проблемы наблюдения (проблемы С) является нахождение алгоритма наблюдения, позволяющего по известной реакции системы определить искомое состояние в заданный момент времени.

В прикладных задачах наблюдения важную роль играет задание момента времени оценки состояния. Рассмотрим три варианта этого задания и соответствующие варианты проблемы наблюдения. В первом из них требуется оценить состояние системы в начальный момент времени (вариант **С0**). Во втором речь идет об оценке текущего состояния динамической системы (вариант **С1**). Третий вариант — оценка состояния динамической системы в будущем — это задача прогноза (вариант **С2**).

Кроме того, для каждой из трех указанных подпроблем можно указать две модификации:

1. Наблюдение состояния динамической системы при отсутствии управляющего воздействия — на основе *свободной реакции* системы;
2. Наблюдение состояния динамической системы при известном или специально формируемом в интересах решения задачи наблюде-

ния (провоцирующем) управляющем воздействии — на основе **вынужденной реакции** системы.

Таким образом, с учетом четырех вариантов возмущающей среды, можно указать 24 варианта проблемы наблюдения: **C01а, C01б, C01γ, C01δ, C02а, C02б, C02γ, C02δ, C11а, C11б, C11γ, C11δ, C12а, C12б, C12γ, C12δ, C21а, C21б, C21γ, C21δ, C22а, C22б, C22γ, C22δ.**

4.4. Четвёртая, и последняя, проблема системно-кибернетических исследований является наиболее сложной. В ее основе лежит целенаправленный выбор тех или иных альтернативных элементов, определяющих свойства и поведение рассматриваемой системы. Будем называть эту проблему **проблемой выбора (проблемой D)**.

В зависимости от характера указанных элементов разделим эту проблему на две подпроблемы, отражающие специфику соответствующего выбора.

D1. Выбор структурных характеристик (параметров) системы для обеспечения желательных свойств системы. Эта подпроблема возникает обычно в исследовании статических систем (и перекликается с подпроблемой структурного анализа **V1**), структурные характеристики которых (и соответствующие параметры) в большинстве случаев представляют наибольший интерес с точки зрения исследователя. Она отражает весьма широкий круг актуальных прикладных задач, связанных с синтезом разнообразных структур (организационного, организационно-технического и технического характера), удовлетворяющих заданным требованиям к характеристикам этих структур (в том числе и требованиям оптимальности по тем или иным критериям).

В математическом отношении эта проблема обычно заключается в установлении взаимно-однозначного соответствия между множеством структурных характеристик и некоторым числовым множеством, в результате чего данная подпроблема выбора обычно ставится и решается как математическая задача выбора в конечномерном пространстве.

Более сложной и многогранной является вторая из рассматриваемых подпроблем выбора — проблема выбора управляющего воздействия, относящаяся к исследованию динамических систем и допускающая содержательную системно-кибернетическую трактовку. Рассмотрим ее более подробно.

D2. Выбор управляющего воздействия из заданного множества допустимых альтернатив (класса допустимых управлений) для обеспечения желательного процесса управления.

Прежде всего, отметим существенное усложнение этой подпроблемы с математической точки зрения тем обстоятельством, что множество элементов выбора здесь состоит из функций времени, т. е. является множеством элементов функционального, а не числового пространства, что приводит к существенным математическим трудностям при практическом поиске требуемого решения (так, например, поиск оптимального управления в математическом отношении сводится к решению сложных вариационных задач). Будем называть подпроблему **D2 проблемой управления**.

Рассматривая данную проблему с системно-кибернетической точки зрения, прежде всего, отметим, что в данном случае вся информация о поведении динамической системы во времени, которой может располагать управляющая система, заключена в реакции системы, которая (как и ранее, при обсуждении проблемы наблюдения) предполагается доступной непосредственной регистрации (измерению).

Вместе с тем, как это уже отмечалось при рассмотрении динамической системы, достаточно полное ее описание (в основе которого лежит проникновение в сущность имманентных системе причинно-следственных связей) возможно лишь в терминах «движение–реакция», отражающих не только внешние процессы (реакция системы), но и внутреннюю эволюцию системы — изменение ее состояния во времени (движение системы).

Из изложенного следует, что для формирования управляющего воздействия на систему, кроме реакции, необходимо знать и ее движение, как наиболее полную характеристику ее динамических свойств, или хотя бы ее состояние в некоторый момент времени. Последнее, в свою очередь, означает, что решение рассматриваемой подпроблемы выбора — проблемы управления в общем случае должно включать в свой состав и решение проблемы наблюдения (рассмотренной выше проблемы С).

Исходя из указанных соображений, решение проблемы управления **D2** можно интерпретировать как построение комбинации двух (!) алгоритмов, первый из которых является алгоритмом наблюдения, т. е. позволяет по зафиксированной реакции определить состояние системы в требуемые моменты времени, а второй является собственно алгоритмом управления и определяет управляющее воздействие как функцию времени и указанного состояния.

В общем случае рассмотрение различных комбинаций указанных алгоритмов открывает широкое поле для проведения соответствующих исследований. В общей постановке проблема **D2** — *проблема управ-*

ления по реакции — в настоящее время еще далека от исчерпывающего решения. Обсуждение возможных путей ее решения и соответствующих комбинаций указанных алгоритмов выходит за рамки настоящей статьи. Отметим лишь, что в настоящее время наиболее исследованы *два варианта* этой проблемы.

Первый из них основан на предположении, что состояние системы точно известно в некоторый *начальный момент времени* и управляющее воздействие формируется как некоторая функция этого состояния и времени. Такое управление называется *программным управлением*. Соответствующую проблему программного управления обозначим через **D2p**.

Второй вариант — наиболее интересный и сложный — проблема управления в предположении, что состояние динамической системы — объекта управления в любой момент времени является полностью известным — так называемая *проблема управления при полной информации о состоянии объекта управления*. Обозначим этот вариант через **D2s**. В этом случае управляющее воздействие формируется не как программное управление, а как управление с обратной связью — как функция текущего состояния. Задача нахождения указанной функции получило название задачи *синтеза управления*.

Таким образом, с учетом четырех вариантов среды, проблема выбора **D** может быть представлена 16 морфологическими разновидностями: D1 α , D1 β , D1 γ , D1 δ , D2 α , D2 β , D2 γ , D2 δ , D2p α , D2p β , D2p γ , D2p δ , Ds α , Ds β , Ds γ , Ds δ .

Подводя итоги приведенной морфологической структуризации проблематики системных исследований, отметим, что соответствующая морфологическая схема может быть представлена в виде дерева, имеющего четыре ветви (*моделирование–анализ–наблюдение–выбор*), на которых размещены в общей сложности 57 листьев — соответствующих частных задач системно-кибернетических исследований. Эта схема позволяет описать основные направления теории системно-кибернетических исследований, ориентированные на решение указанных четырех фундаментальных проблем. С кратким обзором основных принципиальных концепций соответствующей методологии читатель может ознакомиться в работе [1].

5. Заключение. Анализ многолетнего опыта научных исследований показывает, что при их проведении авторы придерживаются одной из двух концепций.

Первая из них, которая может быть названа *индуктивным подходом* (от частного — к более общему), заключается в том, что новое

научное знание формируется как развитие уже известного решения частной научной задачи — как расширение и модификация (порой весьма незначительная) известных частных результатов.

Именно так (от частного результата — к расширенному частному и весьма редко — к широкому обобщению, как, например, в случае законов Кеплера как результата обработки огромного массива данных наблюдений астронома Т. Браге) организуется работа большинства научных школ, группирующихся вокруг научного руководителя. При этом могут быть получены весьма ценные результаты, однако, главный недостаток индуктивного подхода заключается в том, что он в ряде случаев приводит к изоляции и дифференциации знаний и соответствующего тезауруса и стеснен рамками принятой в данной научной школе методологии, что затрудняет обобщение результатов, обмен опытом научных исследований и подготовку специалистов широкого профиля.

Вторая, альтернативная концепция — **дедуктивный подход** (от общего — к частному), реализуется тогда, когда исследователь, обладающий фундаментальной подготовкой в достаточно общей области, «проецирует» изучаемую частную задачу на проблематику более широкой науки, интерпретируя эту задачу в обобщающих терминах и используя соответствующую общую теорию. Так, законы Кеплера могут быть получены аналитическим путем буквально в одну строку как следствие закона всемирного тяготения Ньютона.

Ярким примером **дедуктивного подхода** является использование системно-кибернетической методологии, носящей универсальный характер. Получаемые при этом результаты отличаются высокой степенью общности и позволяют обеспечить взаимопонимание и обмен опытом между специалистами различного узкого профиля. Например, такие, на первый взгляд, разные задачи, как оценка параметров орбитального движения космического аппарата на основе обработки измерений наземных радиотехнических станций и задача демодуляции радиосигнала с учетом случайных помех, на самом деле являются частными случаями общей задачи наблюдения состояния динамической системы при случайных возмущениях, примером решения которой в линейном случае при аддитивных гауссовских шумах является фильтр Калмана–Бьюси.

Теория системных исследований является одной из методологических основ для реализации **дедуктивного подхода** к решению прикладных задач, позволяющего не только наиболее эффективно использовать накопленные знания и соответствующие методы, но и вырабо-

тать широкий, обобщающий взгляд на исследуемую задачу как вариант более общей проблемы в соответствующей прикладной интерпретации.

Литература

1. *Калинин В.Н.* Теоретические основы системных исследований. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. 278 с.

Калинин Владимир Николаевич — д-р техн. наук, проф.; Заслуженный деятель науки и техники РФ; профессор Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. Область научных интересов — теория системных исследований, космическая кибернетика и информатика, теория оптимального управления динамическими системами, автоматизированные системы управления, подготовка инженерных кадров и новые информационно-дидактические технологии в высшем образовании. Число научных публикаций — 170. kvn.112@mail.ru, ВКА им.А.Ф.Можайского, Ждановская ул., д.13, Санкт-Петербург, 197082; р.т. +7(812) 347-9508.

Kalinin Vladimir Nikolaevich — Dr.Sc.in Technical Science, Prof., Honored Scientists of the Russian Federation; Professor of Military-space academy. Research interests — the theory of system researches, space cybernetics and computer science, the theory of optimum control of the dynamic systems, the automated control systems, preparation of the engineering staff and new information-didactic technologies in higher education. Number of scientific publications — 170. kvn.112@mail.ru; Military-space academy. Gdanovskaya str., 13, St. Petersburg, 197082, office phone +7(812)347-9508.

Рекомендовано СПИИРАН, директор Юсупов Р.М., чл.-корр. РАН.
Статья поступила в редакцию 30.01.2013.

РЕФЕРАТ

Калинин В.Н. Морфологический анализ проблематики теории системных исследований.

Развитие системных представлений во второй половине XX века привело к формированию нового интеграционного научного направления — теории системных (точнее системно-кибернетических) исследований, предметом которой является изучение структуры и общих закономерностей функционирования систем любой материальной природы, общих свойств этих систем и разработка методов управления ими на основе соответствующих концептуальных и математических моделей. В последние десятилетия опубликовано огромное количество научных работ, относящихся к области системных исследований. В связи с этим представляется важным проведение морфологического анализа проблематики системных исследований.

Анализ состояния системно-кибернетических исследований показывает, что при всем калейдоскопическом разнообразии множества задач, возникающих при изучении тех или иных реальных объектов, каждая из этих задач может быть отнесена к одной из четырех фундаментальных проблем, лежащих в основе системно-кибернетических исследований.

Первая из четырех указанных проблем заключается в построении модели изучаемого реального объекта в системно-кибернетических терминах — проблема моделирования. Концептуальные (включая модели системного анализа) и математические модели.

Вторая проблема заключается в исследовании свойств, присущих рассматриваемой системе — проблема анализа. Анализ структуры системы, ее свободных или вынужденных движений и реакций.

Третья проблема системно-кибернетических исследований — проблема оценки состояния динамической системы — проблема наблюдения. Варианты этой проблемы связаны с учетом требуемого момента времени оценки состояния и характера реакции системы (свободная или вынужденная).

Четвертая проблема заключается в целенаправленном выборе тех или иных альтернативных элементов, определяющих свойства и поведение рассматриваемой системы — проблема выбора. Выбор структурных характеристик (параметров) системы или управляющего воздействия (проблема управления). Варианты проблемы управления с учетом информации (реакция системы, начальное или текущее состояние), которой располагает управляющая система.

Все указанные выше четыре проблемы имеют свои особенности в зависимости от возмущающей среды, в которую «погружена» исследуемая система (детерминированная, стохастическая, целенаправленная, с неизвестными элементами). Исходя из рассмотренных в статье признаков классификации, проблематика системно-кибернетических исследований представлена в виде морфологического дерева, содержащего четыре ветви (моделирование – анализ – наблюдение – выбор) и 57 листьев – частных задач.

SUMMARY

Kalinin V.N. The morphological analysis of the system researches theory problematics.

Development of system representations in second half XX centuries has led to formation of a new integration scientific direction — to the theory system (more precisely system-cybernetic) researches which subject is studying structure and the general laws of functioning of systems of any material nature, the general properties of these systems and development of methods of management of them on the basis of corresponding conceptual and mathematical models. Last decades the huge quantity of the scientific works concerning area of system researches is published. In this connection carrying out of the morphological analysis of a problematics of system researches is obviously important.

The analysis of a condition of system-cybernetic researches shows, that at all kaleidoscopic variety of set of the tasks arising at studying of those or other real objects, each of these tasks can be carried to one of four fundamental problems underlying system-cybernetic researches.

First of four specified problems consists in construction of model of studied real object in system-cybernetic terms — a problem of modelling. Conceptual (including models of the system analysis) and mathematical models.

The second problem consists in research of the properties inherent in examined system — a problem of the analysis. The analysis of structure of system, its free or forced movements and reactions.

The third problem of system-cybernetic researches — a problem of an estimation of a condition of dynamic system — a problem of observation. Variants of this problem are connected in view of the demanded moment of time of an estimation of a condition and character of reaction of system (free or forced).

The fourth problem consists in a purposeful choice of those or other alternative elements determining properties and behavior of examined system — a problem of a choice. A choice of structural characteristics (parameters) of system or operating influence (a problem of management). Variants of management in view of the information which the operating system (reaction of system, an initial or current condition) has.

All four problems specified above have the features depending on the revolting environment in which the investigated system (determined, stochastic, purposeful, with unknown elements) «is shipped».

Proceeding from the attributes of classification examined in article, the problematics of system-cybernetic researches is presented in the form of the morphological tree containing four branches (modeling—the analysis—observation—a choice) and 57 leaves — individual tasks.