

В. В. ДРУЖИНИН
Д. С. КОНТОРОВ

СИСТЕМЫ ТЕХНИКА

Содержание

Предисловие	3
Часть I. Физические основы системотехники	5
1. Сложные системы и принципы системотехники	5
2. Негентропия, организация, целенаправленность	20
3. Системные константы и размерности величин	30
4. Описание системы	40
5. Феномен сложности	45
6. Вероятностно-детерминированный мир сложных систем	65
7. Концепция системотехники	77
Часть II. Модели сложных систем	93
8. Эффективность	93
9. Распределение функций в эргатических системах	110
10. Принципы управления	129
11. Адаптивное управление с подражательным механизмом	134
12. Рефлективное управление	147
13. Создание сложных систем	156
14. Сложные радиотехнические системы	171
15. Эффективность организаций	186
Заключение	196
Список литературы	198

Валентин Васильевич Дружинин
Давид Соломонович Конторов

СИСТЕМОТЕХНИКА

Редактор *Н. Г. Давыдова*
Художественный редактор *Н. С. Шеин*
Обложка художника *Н. А. Пашуро*
Технический редактор *А. Н. Золотарева*
Корректор *Т. С. Власкина*

ИБ № 625

Слано в набор 31.1.85

Подписано в печать 28.04.85

Т-11807 Формат 60×90/16 Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная

Печать высокая Усл. печ. л. 12,5 Усл. кр.-отт. 12,75 Уч.-изд. л. 13,89 Тираж 15 000

Изд. № 20370

Зак. № 12

Цена 85 к.

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Московская типография № 5 ВГО «Союзучетиздат»
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

В. В. ДРУЖИНИН
Д. С. КОНТОРОВ

СИСТЕМЫ ТЕХНИКА



Москва
«Радио и связь»
1985

Дружинин В. В., Конторов Д. С. Системотехника. — М.: Радио и связь, 1985. — 200 с., ил.

Обосновывается физическая сущность сложных систем как объектов, обладающих свойствами уникальности, негентропийности, стохастичности, ориентации, самоорганизации, целенаправленности; дается математическое описание и обоснование этих свойств. Доказывается физическая закономерность слабопредсказуемого поведения сложных систем, формулируются принцип и концепция системотехники. Предлагается метод и аппарат описания функционирования, взаимодействия со средой, развития, формирования поведения и деградации сложных систем. Исследуются системы размерностей величин и математические структуры, описывающие сложные системы. Обосновывается вероятностно-детерминированное поведение сложных систем как проявление физического принципа дополнителности, рассматривается сущность вероятностно-детерминированных свойств реальных объектов. Обсуждается методология системотехники, способы построения целеориентированных системных моделей, их связь с теорией и место в исследовании, создании и использовании сложных систем. Рассматривается проблема эффективности, предлагаются теория и аппарат оценки эффективности на основании функциональных, физически измеримых и комплексных критериев.

Обосновываются модели эргатических систем, приводится математическое описание их интеллектуально-волевого компонента, исследуется распределение функций между человеком и техническими устройствами. Рассматриваются виды управления сложными системами: программное, адаптивное, рефлексивное. Описывается методика разработки технических и эргатических систем. Приводятся примеры процесса разработки технической системы, отрасли народного хозяйства, организации.

Для научных работников в области системологии, системотехники, кибернетики.

Табл. 6. Ил. 44. Библиогр. 46 назв.

Рецензенты: чл.-корр. АН БССР А. М. ШИРОКОВ
и доктор техн. наук проф. А. П. РЕУТОВ

Редакция литературы по кибернетике и вычислительной технике

Д $\frac{1502000000-127}{046(01)-85}$ 1-85

Предисловие

За последнее десятилетие благодаря фундаментальным достижениям физики (в области теории взаимодействия и термодинамики необратимых процессов), математики (в области нелинейных дифференциальных уравнений и теории катастроф), а также собственным практическим успехам системотехника стала областью знания, сферой деятельности и прикладной дисциплиной.

Развитие системотехники обусловлено главным образом давлением практических проблем. Мир осознал себя цельным, осознал, что эта цельность характерна для всех уровней и всех масштабов человеческой деятельности. Технологическое могущество человечества породило новые связи в природе и обществе, в более сильной степени определяющие пути их эволюции, нежели природные связи. Основными компонентами техносферы стали эргатические системы. Все это повысило ответственность науки, усилило ее прагматические позиции и породило новые научные парадигмы. Благодатные времена аксиоматических теорий, основанных на элегантной идеализации эмпирических фактов, неуклонно уступают новым веяниям. Системный подход проник во все области науки.

Однако нельзя не признать, что современная ситуация в системологии и системотехнике близка к той, которая в свое время возникла в физике и которую Эйнштейн характеризовал как «долгие годы поисков в темноте, полные предчувствий, напряженного ожидания, чередования надежд и изнеможения».

При многочисленных разногласиях (от первых работ А. А. Богданова [8, 9], Л. Берталанфи и до работ Н. П. Бусленко [10, 11], В. М. Глушкова [15], Дж. ван Гига [14], Г. Вунша [13], Дж. Кастти [24], М. Месаровича [28, 29], Н. Н. Моисеева [30, 31], Ю. А. Шрейдера [44]) системные теоретики единодушны по крайней мере в одном: системный подход — есть методология познания частей на основании целого и целостности в отличие от классического подхода, ориентированного на познание целого через части.

Системотехника опирается на эксперимент и ориентирована на выявление закономерностей, непосредственно следующих из наблюдений и экспериментов. Эксперименты ставятся исходя из целей и задач исследователя, поэтому они заведомо носят прагмати-

ческий и ситуационный характер. На основании выявленных факторов и закономерностей создается модель объекта, среды и ситуации. В дальнейшем исследователь имеет дело с моделью, модель заменяет ему теорию, модель ориентирована на потребности исследователя и становится источником последующих выводов, домыслов и гипотез.

Системный подход расширил возможности познания, а системотехника позволила решить немало практических задач. Вместе с тем строго обоснованного метода и рабочего аппарата построения моделей пока не создано. Одна из главных причин этого состоит в неполноте концепции системотехники и, в частности, определения, описания и объяснения способа действия сложных систем.

В предлагаемой книге делается попытка рассмотреть сложные системы с физических позиций и обосновать достаточность физических законов для объяснения действия систем различной природы, а также развить методику и рабочий аппарат исследования и создания технических и эргатических систем.

Изложенные в книге концепции и методы применимы во многих прикладных науках и областях деятельности. Авторы будут считать свою задачу выполненной, если у них появятся новые единомышленники.

Отзывы о книге просим направлять по адресу: 101000, Москва, Почтамт, а/я 693, издательство «Радио и связь».

Часть I.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМОТЕХНИКИ

1. Сложные системы и принципы системотехники

Будем называть *системой* объект любой природы (либо совокупность взаимодействующих объектов любой, в том числе различной природы), обладающий выраженным «системным» свойством (свойствами), т. е. свойством, которого не имеет ни одна из частей системы при любом способе членения и не выводимым из свойств частей. Части системы, имеющие аналогичные свойства, назовем *подсистемами*. Объединение нескольких систем, обладающее системным свойством, будем называть *надсистемой* или *системой* более высокого порядка (2-го, 3-го и т. д.). *Элементом* системы является объект (часть системы) с однозначно определенными известными свойствами.

Система (подсистема, элемент) имеет входы и выходы. Входом называется дискретное или непрерывное множество «контактов», через которые воздействие среды передается системе. Выход — множество контактов, через которые система воздействует на среду. Любой элемент системы имеет по крайней мере один выход и один вход. Воздействие может состоять в передаче вещества, энергии, информации или комбинации этих компонентов. Соответственно будем говорить о вещественном, энергетическом, информационном обмене между системой и средой (метаболизме).

Таким образом, понятия «элемент», «подсистема», «система», «надсистема» взаимно преобразуемы: система может рассматриваться как элемент системы более высокого порядка, а элемент — как система (при углубленном анализе); отношение к системе определяется не только ее содержанием, но и точкой зрения, позицией, задачей исследователя.

В практике нередко применяется термин «большая» система. Под большой (крупномасштабной) системой будем понимать систему, число подсистем которой очень велико, а состав разнороден.

Среда есть окружение, с которым система взаимодействует. Взаимодействующие со средой системы называются «открытыми». «Закрытые» («замкнутые») системы среды не имеют. Средой для

одной из подсистем системы могут служить остальные подсистемы или часть из них, а также другие «сторонние» системы. Среда — тоже система.

Под *состоянием* системы будем понимать упорядоченную совокупность значений параметров, внутренних и внешних, определяющих ход процессов, происходящих в системе. Множество состояний системы может быть конечным, счетным или континуальным.

Поведение системы есть развернутая во времени последовательность реакций системы на внешнее воздействие.

Детерминированные системы назовем S_1 -системами, стохастические — S_2 -системами, хаотические — S_3 -системами; сложные системы будем называть S_0 -системами.

Новые определения будем вводить по мере надобности.

Сложные системы обладают особыми свойствами. Назовем эти свойства.

Уникальность: каждая система этого класса не имеет полных аналогов поведения, во всяком случае аналоги настолько редки, что с их наличием в исследованиях и практике можно не считаться.

Слабопредсказуемость: никакое, сколь угодно подробное знание морфологии и функций элементов (подсистем) не позволяет определить функций объекта, никакое, сколь угодно подробное и точное знание поведения объекта на интервале $(-T, 0]$ не позволяет точно предсказать его поведение на интервале $(0, \tau]$.

Негэнтропийность или *целенаправленность*: система в состоянии (в определенных пределах) управлять своей энтропией (уменьшать ее, сохранять, тормозить увеличение) при случайном и неблагоприятном воздействии среды или (и) способна осуществлять поведение, преследующее достижение определенной цели.

Негэнтропия — (мера вероятности пребывания в данном состоянии) определяет «стремление» системы к основному процессу, способность устранять последствия внешних и внутренних случайных воздействий.

Целенаправленность — «стремление» к достижению цели — выражает именно эту тенденцию: сохранения и усиления основного процесса, ведущего к цели. Поэтому понятия «негэнтропийность» и «целенаправленность» — родственные.

В простых физических системах энтропия вычисляется относительно просто. Рассмотрим процесс ускорения пучка заряженных частиц. Если с увеличением энергии растет его дисперсия, говорят, что «пучок нагрелся» и энтропия возросла. В принципе можно ускорить пучок частиц до любой энергии, сохранив его «холодным» или даже «охладив», в последнем случае энтропия уменьшится, возрастет негэнтропия. В сложных системах основной процесс может быть скрыт от наблюдателя, поэтому выявить случайные отклонения непросто. Вычислить негэнтропию и использовать ее сложно, а иногда — невозможно. Здесь удобнее оперировать понятием целенаправленности.

Итак, сложные системы обладают свойствами уникальности, слабопредсказуемости и негентропийности (целенаправленности). Свойство уникальности является внешним по отношению к системе и влияет на отношение к ней исследователя (пользователя). Свойство негентропийности (целенаправленности) является внутренним, труднораспознаваемым и не всегда доступным пониманию исследователя, особенно на относительно коротком (по сравнению с временем существования системы) интервале времени.

Для исследователя (пользователя) на первый план выступает свойство слабой предсказуемости поведения, которое в сущности и является практическим признаком сложной системы, остальные же свойства могут быть выявлены только в процессе исследования, т. е. при условии, что исследование их обнаружит. Формальный анализ категории сложности дан Д. Б. Юдиным [47].

Сложные системы могут иметь различную природу. Это и «чисто физические» термодинамические неравновесные необратимые системы (вулкан, солнце), и технические системы (производство), и биологические системы (клетка, живое существо, экологический комплекс), и общественные системы различного уровня (человек, отрасль промышленности, экономика страны). Можно ли предположить, что столь различные объекты основаны на одинаковых принципах? Прежде чем искать обобщенные законы, необходимо изучить законы, действующие в конкретных системах — иначе ничего обобщать. Но это как раз и невозможно, поскольку сложные системы уникальны и каждый раз исследователю приходится иметь дело с новым объектом.

По принятым правилам закон должен выражать устойчивые, имманентные причинно-следственные связи между объектами, процессами и величинами. Ввиду различного понятийного аппарата, используемого для описания систем различной природы, найти такие всеобщие связи, которые охватывали бы все сложные системы и в то же время допускали конкретизацию, не удастся. Понятие принципа является более широким и в данном случае более подходящим. Поэтому мы будем искать единые принципы существования и действия сложных систем.

Любые принципы основаны на опыте и общественном соглашении, это касается и принципов системотехники. Опыт исследования объектов различного состава, содержания и области применения (физических, технических, биологических, эргатических, мысленных конструкций и т. д.) позволяет сформулировать три основных принципа системотехники, которые можно положить в основу исследования, использования и создания сложных систем:

- 1) принцип физичности;
- 2) принцип моделируемости;
- 3) принцип целенаправленности.

Принцип физичности: всякой системе (независимо от ее природы) присущи физические законы (закономерности), возможно уникальные, определяющие внутренние причинно-следственные связи, существование и функционирование. Никаких других зако-

нов (кроме физических) для объяснения действия систем любой природы (в том числе живых) не требуется.

Принцип физичности включает несколько постулатов.

Постулат целостности: сложная система должна рассматриваться как единое целое. Понятие целостности основывается на специфическом общесистемном свойстве (группе свойств).

За последние десятилетия категория «что из чего состоит» получила в физике новое истолкование. Две частицы, взаимодействуя, рожают большее число частиц, каждая из которых имеет массу покоя большую, нежели обе исходные частицы. Представление о том, что «более сложное» или «большее» состоит из частей «менее сложных» и «меньших» потеряло смысл. При организации в систему однотипных подсистем происходит объединение некоторых свойств подсистем, усиливающих положительное проявление этих свойств, но это не простое арифметическое сложение. При определенном уровне усиления одних и ослабления других свойств превалирующее значение приобретает новое общесистемное свойство, возникающее вследствие взаимодействия компонентов.

Таким образом, система — не множество подсистем, а целостный объект, допускающий различные членения на подсистемы (быть может, даже бесконечное число членений). Поэтому система не тождественна никаким ее членениям.

Один из аспектов постулата целостности состоит в том, что ни при композиции, т. е. объединении подсистем в систему, ни при декомпозиции, т. е. членении системы (в любом из вариантов), недопустима потеря понятий. При исследовании компонентов недопустимо элиминирование целостных (системных) понятий.

Сущность постулата целостности состоит в том, что композиция и декомпозиция должны осуществляться в направлении генерирования характеризующей систему информации более высокого качества.

Если сумма частей равна целому, системы называют аддитивными относительно данного членения, если сумма больше целого — супераддитивными, если сумма меньше целого — субаддитивными.

То обстоятельство, что часть может быть сложнее целого, имеет фундаментальное значение для системотехники, поскольку концепция системотехники состоит в упрощении — не всякое членение позволяет получить части (подсистемы), более простые и доступные для исследования.

Выявление целостности требует учета всех взаимосвязей внутри системы, а также системы со средой. Необходимо выявить системное свойство, его содержание, механизм образования, факторы, которые препятствуют его появлению или снижают его уровень. Необходимо понять, какие свойства подсистем подавляются общесистемным свойством, каков механизм этого подавления и в каких условиях он теряет силу.

Применение постулата целостности состоит в раскрытии и накоплении сведений о системных свойствах на всех этапах исследо-

вания и в обобщении их в понятия, а затем — в применении этих понятий к подсистемам при исследовании их порознь после декомпозиции. Рациональность декомпозиции оценивается на основании определения целостности: если декомпозиция неудачна, системные и подсистемные понятия невозможно увязать, между ними теряется преемственность, они неустойчивы и производят случайное впечатление. Можно механическое движение разложить в ряд по времени, как это принято, а можно, например, по ускорению. Второе законно, но бесполезно, поскольку понятия, связанные с каждым из членов ряда, не будут объединены ни физической теорией, ни опытом. Эта декомпозиция будет восприниматься как случайная, пока не обнаружится взаимная зависимость системного понятия «движение» с понятиями, характерными для всех членов ряда.

Лингвистическое определение постулата целостности. Система (как целое) обладает особым, системным свойством (свойствами), которого нет у подсистем (элементов) при любом способе декомпозиции. Системные свойства формируются путем накопления, усиления и проявления одних свойств подсистем одновременно с нивелированием, ослаблением и скрыванием других при взаимодействии подсистем. Происходит скачок — переход количества в качество. При композиционном (цельном) и декомпозиционном (подкомпонентном) исследовании системы необходимо выявлять системные и подсистемные явно выраженные и скрытые свойства и связанные с ними понятия. Описание системы может не отражать всех свойств (с этим связана потеря точности), но должно сохранять понятия.

Математическое определение постулата целостности. Пусть система S имеет конечное множество $Q = \{Q_i\}$, $i = \overline{1, n}$ системных свойств. Для определенности примем, что все свойства Q_i имеют числовую меру, не обязательно единую (в принципе такое допущение не обязательно, но упрощает запись). Пусть возможно μ вариантов (способов) декомпозиции (μ конечно или бесконечно). При r -й ($r \in \mu$) декомпозиции $S = \{S_l\}$, $l = \overline{1, L_r}$ (L_r — число подсистем в S). Каждая подсистема характеризуется конечным множеством свойств $Q_l = \{Q_{lk}\}$, $k = \overline{1, K}$, каждое свойство Q_{lk} имеет числовую меру, вообще говоря, индивидуальную. Множество свойств всех L_r подсистем системы при r -й декомпозиции $Q_r = \{Q_l\}$, $l = \overline{1, L_r}$. Взаимодействуя, подсистемы порождают конечное множество системных процессов $F_r = \{F_{rj}\}$, $j = \overline{1, J}$; $F_{rj}(t) = \Phi_{rj}(Q_r, t)$.

Системное свойство Q_i есть функционал ψ_i от протекающих в системе процессов: $Q_i = \psi_{ri}(F_r(t), T)$.

Постулат целостности состоит в том, что

$$(\forall r, S) [\exists! Q(S) = \{Q_i(S)\}; \quad i = \overline{1, n}; \quad Q_i \cap Q_r = \emptyset]. \quad (1.1)$$

Это означает: «для всех $r \in \mu$ системы S ($\forall$ — квантор общности) существует единственное множество Q_i , зависящее только от S и не зависящее от r ($\exists!$ — квантор существования и единствен-

ности), такое, что в Q_i и в Q_r не существует ни одного общего элемента».

Каждая из формулировок является моделью абстрактной сложной системы, выраженной на соответствующем языке. Модели в смысловом отношении (семантически) тождественны, тем не менее языковое различие порождает новые предметы для размышления и исследования.

Постулат автономности. В соответствии с Эрлангенской программой различные классы физических явлений могут быть поставлены в соответствие различным группам преобразований, каждая группа порождает свою геометрию. Таким образом, реализация этой программы основана на применении теоретико-групповых методов к созданию фундаментальных и прикладных теорий. И хотя «геометризация» физики не завершена, можно утверждать, что геометрическому представлению сложных систем свойственна всеобщность и глубина.

Различие геометрий становится различием классов систем, и это различие имеет четкий формальный признак — другую группу преобразований. Предполагая, что интересующая нас система расположена в адекватном ей геометрическом пространстве (реальном, функциональном, мыслимом) и ограничиваясь метрическими пространствами, мы должны каждому классу систем (конкретной системе) приписать метрику, определяемую соответствующей группой преобразований. Это — автономная метрика системы, либо автономная группа преобразований.

Метрика связана с понятием расстояния между элементами системы. Мы привыкли к евклидовой метрике, иногда измеряя расстояние по прямой, а иногда по дуге (в геодезии и навигации — по ортодромии). Метрики Вселенной, поверхности Земли и плоской поверхности различны. Если бы классическая геометрия не утвердилась ранее, чем был постигнут факт сферичности Земли, на пути создания метрик Евклида, Лобачевского, Римана было бы еще больше терний. Даже неудачный выбор начала координат может изрядно запутать дело. Система Птолемея возникла из антропоцентризма, в силу чего выбрана геоцентрическая система координат вместо гелиоцентрической. В результате модели движения небесных тел были сложными, путанными и несовместными. Потребовались гений и мужество Коперника, чтобы исправить эту методологическую ошибку, упростить модель и открыть законы движения планет.

Сложная система находится в реальном геометрии и взаимодействует с ним, но основное значение для ее свойств имеют процессы, которые протекают внутри системы. Познавание системы требует прежде всего ее обозримого описания, и здесь выбор метрики может играть определяющую роль. Расстояние в евклидовом пространстве между клетками живого организма очень мало связано с такими функциональными свойствами, как время передачи возбуждения, время реакции и т. д. Это же расстояние между агрегатами производственного комплекса сравнительно слабо влия-

ет на технологические характеристики производственного процесса. В сложных системах евклидово расстояние, как средство описания, отступает на задний план, так как решающее значение приобретает путь распространения процесса. Значительно эффективнее использовать функциональное пространство с соответствующим числом измерений и автономной метрикой. В сущности сложная система и «живет» в автономном функциональном пространстве. Все, что происходит в системе, описывается в этом пространстве более просто. Введение метрики означает создание модели геометрии системы, чем ближе эта модель к истинной геометрии системы, тем проще представление системы.

Итак, сложные системы имеют автономную пространственно-временную метрику, для них существует автономное расстояние и автономное время (либо автономную группу преобразований). Релятивистское время высокоэнергетических частиц — только один пример автономной метрики. Познание сложных систем требует расширения релятивистских категорий и распространения их на различные формы движения. Одни и те же физико-химические процессы протекают в различных системах с различной скоростью, поэтому их естественной мерой времени должно стать течение некоторого определяющего внутреннего процесса, а не внешнего (движение Земли вокруг Солнца). Сложные системы могут иметь локальный масштаб времени, отличный от астрономического. Для развивающихся систем он может быть различным на различных этапах развития.

Физический релятивизм является фундаментом современной науки. Системотехнический релятивизм носит модельный характер. Нет оснований утверждать, что на всех без исключения сложных системах ход времени отличается от астрономического. Внутренняя мера времени вводится как средство исследования и познания, без которого невозможно обойтись в формализации описания системы. Затем устанавливается физическая реальность автономного времени. Биологическая метрика находится в стадии исследования и не имеет столь элегантного описания, как в геометрии и физике.

Автономная метрика ограничивает возможные способы декомпозиции системы. С точки зрения постулата целостности разное разложение декомпозиций помогает выявлению системных свойств. С точки зрения постулата автономности большинство декомпозиций, а может быть, все кроме одной, отпадут. Останется единственная декомпозиция, которая соответствует автономной метрике системы. Поскольку каждый класс физических явлений отождествляется с определенным набором инвариантов, каждая группа преобразований и порожденная ею геометрия соответствует этому же набору.

Некоторые инварианты или функции от них не изменяются при взаимодействии подсистем, сохраняя значение постоянным и допуская только его перераспределение между подсистемами. Тогда говорят, что соответствующая физическая величина подчиняется закону сохранения. Скорость — инвариант, но закона сохранения

скорости нет. Однако произведение массы на квадрат скорости не изменяется ни при каких взаимодействиях: это закон сохранения энергии.

Но существуют и более узкие, внутрисистемные «законы сохранения», определяемые устройством системы. В солнечной системе (при точечном представлении ее подсистем — Солнца и планет) площади, описываемые радиусами-векторами планет (в гелиоцентрической системе координат), сохраняются постоянными. Это закон Кеплера. Как и всякий закон, он связан с определенной идеализацией (не учитывает возмущающего влияния сторонних тел) и справедлив только в пределах этой идеализации. Значимость автономных законов, т. е. их влияние на основные общесистемные свойства, различна.

Инварианты определяются физическим содержанием, устройством и ресурсом системы, а не целевой функцией. Например, инвариантом производственного комплекса не является количество выпускаемой продукции, которая существенно зависит от окружающей среды: при отсутствии сырья выпуск продукции невозможен. Инвариантом производственного комплекса является его энергоинформационный ресурс.

На основании исследования инвариантов выявляются законы сохранения. Можно утверждать, например, что в соответствующих системах действуют «закон сохранения энергоресурса» и «закон сохранения энергоинформативности». Эти автономные законы реально присущи системе, их знание позволяет раскрыть многие важные свойства, идентифицировать и увязать процессы, иначе говоря — познать систему на основании эмпирического «мешка фактов», слабоструктуризуемых и труднообозримых. Для развивающихся систем энергетический и энергоинформативный ресурсы нарастают, что не исключает их инвариантности и существования законов сохранения.

Автономные законы сохранения сложных систем имеют модельный характер, они действительны постольку, поскольку модель адекватна системе. В этом их особенность и отличие от естественнонаучных законов.

Лингвистическое определение постулата автономности. Сложные системы имеют автономную пространственно-временную метрику (группу преобразований) и внутрисистемные законы сохранения, определяемые физическим содержанием и устройством системы и не зависящие от внешней среды.

Математическое определение постулата автономности. Обозначим расстояние и время в среде S через d, t , в системе S через d', t' ; пары $\Delta = \{d, t\}$ и $\Delta' = \{d', t'\}$ — метрики среды и системы; скорости протекания аналогичных процессов соответственно $v_i \in \mathbf{v}$, $v'_i \in \mathbf{v}'$, $i = \overline{1, m}$; при $\mathbf{v}' = \mathbf{v}$ имеем $\Delta' = \Delta$; множество видов взаимодействия $\mathcal{A} = \{A_j\}$, $j = \overline{1, J}$; множество величин, относительно которых действуют законы сохранения, $P = \{P_k\}$, $k = \overline{1, K}$. Тогда:

$$(\forall S)(\exists (\Delta', \Gamma), [\Delta' = \Delta'(S)] \vee [\Gamma_j(\Delta') = \Gamma_j(\Delta)] \vee [P(v) = \text{const}] \vee [\Gamma(v) = \text{const}]). \quad (1.2)$$

Это читается так: «для всех сложных систем S существуют пространственно-временная метрика Δ' и множество инвариантов Γ , такие, что пара $\{\Gamma, P\}$ определяется устройством системы и при любых возможных видах внутрисистемного взаимодействия она постоянна и не зависит от метрики».

Принцип моделируемости. Сложная система представима конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности. Этот важный принцип дает возможность исследовать определенное свойство или группу свойств сложной системы при помощи одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделей. Модель, ориентированная на определенную группу свойств сложной системы, всегда проще самой системы. Создание полной модели для сложной системы вообще бесполезно, так как в силу теоремы Тьюринга, такая модель будет столь же сложной, как и система. Ориентированная модель строится на основании измерений, которые всегда ограничены. Однако можно ли полагать, что ориентированная модель будет стабильной и независимой от моделей другой ориентации? Доказательство существования и стабильности ориентированных (как угодно узко) моделей опирается на постулат дополненности, а оценка пределов этой стабильности — на постулат неопределенности. Оба постулата являются развитием и распространением на сложные системы соответствующих физических принципов. Это закономерно, поскольку принцип физичности мы приняли.

Постулат дополненности. Сложные системы, находясь в различных средах (ситуациях), могут проявлять различные системные свойства, в том числе альтернативные (т. е. несовместимые ни в одной из ситуаций по отдельности).

Впервые физический принцип дополненности для микромира был сформулирован Н. Бором: электрон в одних видах взаимодействия проявляет себя как частица (упругие столкновения), в других — как волна (диффракция). Трудно найти вид взаимодействия, при котором корпускулярные и волновые свойства электрона (или фотона) проявлялись бы одновременно. Это значит, что измерительные приборы не будут регистрировать одновременно того, что мы называем «корпускулярными» и «волновыми» свойствами. Разумеется, это может быть следствием несовершенства наших физических приборов, ориентированных на альтернативность представлений о корпускулярных и волновых свойствах. Реальность едина и процессы физического взаимодействия едины; только в силу ограниченности средств познания это единство расчленяется.

Единство свойств может быть описано обобщающей теорией (метатеорией). Применительно к микромиру такой является квантовая механика. Но квантовая механика не охватывает релятивистских свойств, следовательно, она также недостаточно обща.

Более общей является релятивистская теория квант, но и она имеет ограничения. Представления о корпускулярных и волновых свойствах наглядны, а их объединение — ввиду отсутствия наглядных аналогов — воспринимается плохо. Потребовались новые факты, чтобы пересмотреть старые представления, а также и немалые усилия, чтобы утвердить новые.

Физический принцип дополнительности играет в этом сложном и мучительном процессе перестройки модели действительности выдающуюся роль. Первоначальную его идею Н. Бор развил, обобщил, придал ему философское истолкование, гносеологический смысл и распространил на другие явления.

Сила постулата дополнительности в его конструктивности, отвергающей как необоснованный компромисс «того и другого понемногу», так и неперспективную позицию «или—или», он ведет от рационального использования феноменологических моделей к познанию целого.

Расширение физического принципа дополнительности на сложные системы вполне закономерно, поскольку его действие основано на системных свойствах микромира. В системотехнике постулат дополнительности заставляет искать в разных ситуациях соответствующие им проявления сущности системы. Необходимость постулата дополнительности связана с ограниченностью наших средств познания и отображения реальности. Природа едина и цельна, но отражение ее свойств в нашем представлении неоднозначно и ситуационно. Наблюдатель воспринимает одни грани сущности в одних условиях и другие грани сущности в других.

Лингвистическое определение постулата дополнительности. Сложная система во взаимодействии со средой может проявлять различные свойства в различных ситуациях, несовместимые ни в одной из них.

Математическое определение постулата дополнительности. Обозначим: $Q = \{Q_i\}$, $i = \overline{1, n}$ — неупорядоченное множество свойств системы S , взаимодействующей со средой C_h , $\{C_h\} = C$; $\bar{Q} = \{\bar{Q}_i\}$, $i = \overline{1, n}$ — множество оценок Q_i ; q_{*i} — некоторое пороговое значение оценки i -го свойства, $\{q_{*i}\} = \bar{q}_{*}$; Δ — внешнее воздействие при $t=0$ на систему, оцененное каким-либо образом; Δ^* — некоторое пороговое значение этой оценки. Тогда

$$(\forall S \exists C_h, C_l) [Q^{(1)}(S, \bar{C}_h) \cap Q^{(2)}(S, C_l) = \emptyset];$$

$$Q^{(1)} \subset Q, Q^{(2)} \subset Q, C_h \subset C, C_l \subset C. \quad (1.3)$$

Постулат действия. Для изменения поведения системы требуется прирост воздействия, превосходящего некоторое пороговое значение. Термин заимствован из квантовой механики: переход электрона на более высокоэнергетическую орбиту требует энергии не менее кванта действия.

Изменение поведения сложной системы может быть связано с энергетикой, с веществом и с информацией, которые, накапливаясь, проявляют свое влияние скачкообразно, путем качественно-

го перехода. Одновременное энерго-информационное воздействие может привести к такому же результату, как энергетическое с более высоким уровнем. Таким образом, порог есть функция трех переменных: количества определенного вещества, количества энергии определенного качества, количества определенной информации.

В атомной физике смена состояния зависит от энергии, в системотехнике появляется новый фактор: информация (энергетический и вещественный обмены со средой в сложных системах довольно строго регламентированы). Именно прирост информации, для накопления которой сложная система имеет специальные средства и возможности, определяет деятельность системы, тогда как избыток вещества или энергии может разрушить ее.

Вещественный и энергетический ресурсы сложной системы более-менее стабильны, эта стабильность возрастает по мере увеличения сложности, для чего требуется анализ поступающей информации и упреждение событий. В сущности, сложные системы в нетривиальном смысле реализуют демон Максвелла. Конструктивное значение постулата действия определяется покомпонентными порогами, значения которых регулируются системой. До определенного уровня действие среды компенсируется усилением одних и ослаблением других процессов, а начиная с некоторого уровня, требуется «переустройство» системы.

Лингвистическое определение постулата действия. Реакция системы на внешнее воздействие имеет пороговый характер.

Математическое определение постулата действия. Пусть $t=0$ — момент действия. Тогда

$$(\forall \Delta \in \Delta^*) [\Delta < \Delta^*, (\forall i) (Q_i(t < 0) = Q_i(t > 0)); \\ \Delta > \Delta^*, (\forall i) (Q_i(t < 0) \neq Q_i(t > 0))]. \quad (1.4)$$

Постулат неопределенности. Повышение точности определения (измерения) какого-либо количественно описываемого свойства сложной системы сверх некоторого предела влечет за собой понижение возможной точности определения (измерения) другого свойства — одновременно измерить значения двух (или более) параметров с точностью, превышающей определенный уровень, невозможно. Иначе говоря, существует область неопределенности, в пределах которой свойства могут быть описаны только вероятностными характеристиками.

Принцип неопределенности хорошо известен из квантовой механики: произведение ошибки в измерении координаты на ошибку в измерении импульса частицы не может быть меньше постоянной Планка при какой бы то ни было точности эксперимента.

В радиолокации точность одновременного измерения дальности и скорости цели имеет предел, зависящий от вида сигнала. В радиолокации природа неопределенности подробно исследована, построены функции неопределенности, найдены технические пути ее «сжатия». Проникновение в глубину явления исключило феномен, но принцип сохранился.