

# Методологический анализ системотехники и моделирование

А. А. Камченкова

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University  
akamchata@yandex.ru

**Аннотация.** Системотехника возникла после второй мировой войны в результате усложнения процессов инженерного проектирования, возникновения необходимости его разумной научной организации. Тем самым возникновение системотехники связано с совершенствованием методов управления.

**Ключевые слова:** анализ; система; системотехника; моделирование; связи; измерения; данные; модель

Системотехника призвана повысить эффективность труда, используя системные методы исследования и конструирования. В системотехнике используется самый широкий спектр научных и технических знаний: от прикладных технических дисциплин до социальных. Оно было обусловлено, прежде всего, необходимостью управления научными и инженерными разработками, а также потребностью создания на их основе сложных систем автоматического управления и автоматизированных систем управления экономикой. В настоящее время системотехника прочно вошла в нашу жизнь и требует системного анализа. Системотехника – многогранное явление и существуют различные подходы к ее определению и изучению. Системотехника может быть рассмотрена и как техническая наука, и как отрасль техники, и как научно-техническая деятельность. Такое комплексное понимание системотехники и будет использоваться нами при ее анализе.

## I. СУЩНОСТЬ СИСТЕМОТЕХНИКИ

Термин «Системотехника» впервые был введен Г.Н. Поворовым, редактором известной книги Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола «Системотехника. Введение в проектирование больших систем». Системотехнику (Systems Engineering) в самом общем виде можно определить как научное планирование, проектирование, оценка и конструирование сложных технических систем. Тем самым объектом системотехнической деятельности выступает сложная система.

При этом под системой принято понимать совокупность элементов, находящихся во взаимосвязях между собой, в результате чего образующих определенную целостность. А сложной системой является такая система, которая требует совместное привлечение многих теорий, моделей, методик. Необходимость в системотехнике впервые появилась тогда, когда выяснилось, что отдельные компоненты, соединенные

вместе, необязательно составляют слаженную функционирующую систему. В сложной системе часто оказывается, что, даже если отдельные компоненты удовлетворяют всем необходимым требованиям, система как целое не будет работать.

При разработке сложных систем могут возникать проблемы, которые относятся не только к свойствам их составных частей (элементов, подсистем), но также и к закономерностям работы объекта в целом; появляется значительный круг особых задач, таких, как определение общей структуры системы, организация взаимодействия между ее составными элементами, учёт влияния внешней среды, выбор наиболее подходящих режимов функционирования, наилучшее управление системой и т.д. По мере усложнения систем всё более значительное место отводится общесистемным вопросам, которые и составляют главное содержание системотехники. Отправным пунктом разработки любой новой сложной системы является комплексное исследование существующей системы, которое включает в себя: планирование исследования; проведение исследования объекта и системы управления им в целом; организацию дополнительных исследований на уровне составных элементов системы; классификацию объектов и систем управления для привязки к ним типовых проектных решений; оценку эффективности функционирования существующей системы.

Деятельность по разработке новой системы состоит в следующем: разработке технического задания для системы в целом и ее отдельных элементов; формировании методик проектирования и других документов, регламентирующих проектную деятельность; описании типовых проектов подсистем; в определении последовательности проектирования, а также внедрения и функционирования системы; конкретизации применительно к данной системе общих методик, разработке недостающих предписаний. Реализация разработанных рекомендаций и предписаний, внедрение их в практику проектирования осуществляются с помощью научной координации всех работ по созданию системы. Она также является составной частью системотехнической деятельности и направлена на решение следующих задач: организация руководства проектировщиками отдельных подсистем; выдача отправных данных проектировщиками подсистем; увязка отдельных подпроектов и их объединение в единый проект; обеспечение реализации системного подхода в процессе проектирования; разработка согласованного

плана организации внедрения; текущий контроль за ходом разработки проекта и его оценка.

Для сложных систем характерна своеобразная организация проектирования в две стадии: внешнее проектирование, в процессе которого решаются функционально-структурные вопросы системы в целом, и внутреннее проектирование, связанное с разработкой составных элементов системы. Остановимся чуть подробнее на внешнем проектировании. Оно начинается с формулировки проблемы и включает в себя: определение целей и задач создания системы; оценка воздействующих на систему факторов и формулирование их характеристик; определение показателей эффективности системы. Цели и задачи системы определяются исходя из необходимости ее практического использования, с учётом тенденций и особенностей научно-технического прогресса. Существенное значение при этом имеет опыт применения имеющихся схожих систем, а также чёткое понимание роли проектируемой системы в экономике страны. Для оценки внешних и внутренних факторов, воздействующих на систему, помимо опыта функционирования схожих систем, используют данные статистики, полученные в результате специально проводимых экспериментальных исследований. В качестве показателей эффективности системы выбирают числовые характеристики, оценивающие уровень соответствия системы поставленным перед ней задачам. Например: для системы слепой посадки самолётов показателем эффективности может служить вероятность успешной посадки, для междугородной телефонной связи – среднее время ожидания соединения с абонентом, для производственного процесса – среднее число изделий, выпускаемых за смену, и т.д. Результаты изучения целей и задач, а также проведённых экспериментов используют для обоснования технического задания по разработке системы.

В соответствии с техническим заданием намечают один или несколько вариантов будущей системы, которые заслуживают внимания с точки зрения дальнейшего рассмотрения и исследования. Анализ выбранных вариантов системы проводится по итогам математического моделирования. На практике чаще всего отдаётся предпочтение моделированию системы на цифровой вычислительной машине. Такая модель моделирования представляет собой определенный алгоритм, при помощи которого вычислительная машина вырабатывает информацию, характеризующую поведение элементов системы и их взаимодействие в процессе функционирования системы. Выработанная таким способом информация позволяет определить показатели эффективности системы, её оптимальную структуру и выработать рекомендации по совершенствованию выбранных вариантов будущей системы. Существуют и аналитические методы (способы) оценки свойств сложных систем, которые основываются на результатах применения теории вероятностных процессов. В качестве проектировщиков сложных систем должны выступать специалисты широкого профиля, обладающие достаточными знаниями в конкретной области техники (например, в машиностроении, электронике и т.д.),

имеющие высокую математическую подготовку, а также знающие основы вычислительной техники, автоматизации управления, исследования операций и особенности их практического применения. Кроме того, в группу внешнего проектирования сложных систем включают специалистов по системному анализу и математическому моделированию, а также специалистов, способных организовать взаимодействие между элементами системы. Немаловажное значение в системотехнической деятельности имеют испытания сложных систем. Натурный эксперимент в чистом виде используется только для оценки параметров особо важных элементов системы. В комплексных же испытаниях системы значительную роль играют имитационные модели. В частности, на их основе строят имитаторы воздействий внешней среды, формируют процессы функционирования элементов, участие которых в натурном эксперименте нецелесообразно.

При рассмотрении понятия системотехники необходимо определить его соотношение с другими понятиями – системным подходом и системным анализом.

Системный подход – это к объектам природы, техники, общества как к системам с учетом воздействия всех факторов среды, в которую погружена данная система.

Системный анализ – методология обоснования решений в условиях существенной неопределенности, объединяющая общую схему системного подхода с аналитическим процессом принятия решений.

При решении технических проблем системный подход и системный анализ часто отождествляют с системотехникой. Так, например, в уже упомянутой выше книге Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола, применительно к решению проблем проектирования сложных технических систем отмечалось: «Это явление было плохо понято и описывалось неточно. Его называли системотехникой, системным анализом и часто системным подходом». В настоящее время наиболее общепринято определение, в котором под системотехникой понимается научная дисциплина, в которой на основе соответствующего применения принципов системного подхода и системного анализа достигается результативное сочетание различных теорий, методов и моделей в процессе создания, испытания, эксплуатации и развития сложных технических систем, для достижения конечной цели – максимального повышения эффективности системы. Вместе с тем, следует отметить, что существуют различные подходы к определению системотехники, о чем речь пойдет ниже.

## II. ПОНЯТИЕ И СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМОТЕХНИКИ

Методология – это учение о научном методе познания, совокупность методов (приемов, способов) моделирования, применяемых в какой-либо науке. Если говорить о системотехнике с точки зрения методологического анализа, то, по мнению В.Г. Горохова, она может быть рассмотрена как *техническая наука*, как *отрасль техники* и как *научно-техническая деятельность*.

В соответствии с этим в настоящее время существует множество определений системотехники.

Одни авторы рассматривают ее как отрасль техники, сущность которой заключается в планировании, проектировании и эксплуатации сложных систем. При этом указывается на направленность данной деятельности на систему в целом, а не на отдельные входящие в нее элементы. Системотехнику определяют и как техническую науку об общих закономерностях проектирования, создания, совершенствования и использования технических систем, требующих системного подхода к решаемым задачам. Исследуемые ею проблемы являются комплексными и находятся на стыке различных научных, в том числе технических, дисциплин. Она позволяет устранить разрыв между исследованием и проектированием, который существует при традиционных методах работы. Системотехника – это «широкая сфера, игнорирующая границы, которые разделяют различные академические дисциплины, которые отделяют исследование от инженерной работы...».

Системотехника, кроме того, в отличие от классических научно-технических дисциплин формируется «неклассическим» способом: в ней нет направленности на какую-либо базовую естественнонаучную дисциплину как основу проведения научного исследования. Тем самым привлекаются любые научные теории, знания и методы, а не только базовые, которые затем перерабатываются, переосмысливаются и определенным образом соединяются в единую теоретическую систему. То есть сначала имеет место весьма общий методологический подход с широкоуниверсальной сферой применения, которая затем специализируется относительно определенной решаемой проблемы. Как следствие разрабатываются новые специфические методы исследования, позволяющие наиболее эффективно решать стоящие перед данной научно-технической дисциплиной задачи. Результатом этого процесса может быть появление новой научной дисциплины.

Именно такой дисциплиной и является системотехника. Для того чтобы лучше понять значение системотехники и ее отличие от традиционной научной деятельности, необходимо перечислить те *задачи*, которые ей решаются:

- подготовка материалов для принятия научно обоснованных решений по управлению процессом создания сложной системы;
- формулирование общей программы разработки сложной системы как основы для последующего соединения разработанных проектов отдельных элементов системы;
- соотнесение проектных задач и координация специалистов, решающих эти задачи;
- обеспечение соединения системы в единое целое;
- обеспечение в процессе разработки сложной системы оптимального и эффективного

использования ресурсов при достижении проектных целей;

- корректировка проектных планов в соответствии с прогнозированием будущих потребностей;
- внедрение в практику проектирования последних научных достижений.

Доктор технических наук А. И. Мохов отмечает, что «главное в системотехнике – видение системы в целом и правильное определение цели ее функционирования, структуры, критериев ограничений, внутренних и внешних связей, а также объединение, укрупнение частей системы (агрегирование) для более общего анализа ситуации. При этом системотехнику можно определить и как науку о формировании связей (отношений) и управления ими». Имеет место и определение системотехники как научного направления, изучающего общественные свойства системотехнических комплексов, процессы их создания, совершенствования, использования и ликвидации в целях получения максимального социального эффекта. Таким образом, мы видим, что системотехника – многогранное явление и существуют различные подходы к ее определению и изучению.

### III. СИСТЕМОТЕХНИКА КАК ТЕХНИЧЕСКАЯ НАУКА

Ранее мы уже отмечали, что анализ системотехники предполагает ее исследование с различных точек зрения. Остановимся подробнее на системотехнике как науке. Системотехника представляет собой комплексную научно-техническую дисциплину, включающую совокупность методов и средств анализа и организации инженерной деятельности и проектирования сложных систем. Научные исследования в системотехнике являются междисциплинарными – в ней используется самый широкий спектр научных, в том числе технических, дисциплин. Соединение знаний в системотехнике осуществляется с помощью конкретно-методологических средств системного подхода.

Системотехника включает в себя сложную совокупность различных типов знания, к которым относятся: эвристические методы и приемы системотехнической практики; знания различных научных дисциплин, тем или иным образом используемые при создании сложных систем; собственно системотехнические теоретические средства.

Первую группу условно можно разделить на конструктивно-технические и технологические знания. *Конструктивно-техническое* знание направлено преимущественно на описание объекта и соответствует его «вещественной» структуре – совокупности элементов, имеющих определенную форму свойств и способов соединения. Поэтому такое знание называется конструктивным. Оно включает также и знание о процессах и характеристиках функционирования исследуемых объектов и именно в силу этого называется конструктивно-техническим. Тем самым, конструктивно-техническое знание – это знание о структуре, об отдельных элементах, а также процессах функционирования сложных

систем в определенной окружающей среде, которое формируется в результате обобщения практики их проектирования, изготовления, использования и т.д. Технологические знания системотехники фиксируют методы создания и принципы использования сложных систем. Они включают методы, приемы и процедуры исследования и создания сложных систем. Системотехнические знания о деятельности по созданию сложных систем относятся не только к изготовлению соответствующего объекта на производстве, но и к организации его проектирования и использования. В системотехнике используются знания различных научных дисциплин – математических, естественных, технических и общественных. Причем для создания сложной системы, как правило, используются только определенные разделы этих дисциплин, несколько измененные применительно к решению задач именно системотехники. Таким образом, традиционные научные дисциплины в рамках системотехники приобретают новый способ существования и развития.

Так, например, средства для моделирования конкретных сложных систем часто заимствуются из математики. Поэтому математическое знание является составной частью системотехники. В частности, широко используются теория вероятностей, математическая статистика, линейное программирование, различные разделы прикладной математики и др. О действительной математизации той или иной науки можно говорить только тогда, когда математические методы начинают применяться не только для обработки экспериментальных исследований, но и для поиска новых закономерностей, построения теории и создания специального формализованного языка. Поскольку в системотехнике речь идет, в том числе, о моделировании сложных систем, необходимо дать определение моделированию. Согласно одного из определений, моделирование является методом изучения объекта исследования путем построения соответствующих моделей, а математическое моделирование – исследование физического объекта путем создания его математической модели и оперирования ею с целью получения полезной информации о физическом объекте.

Математические знания необходимы в системотехнике для расчета экспериментальных ситуаций, служащих средством обоснования и подтверждения полученных теоретических знаний. Они выполняют также функцию преобразования идеальных объектов посредством дедуктивного вывода. Это позволяет получать новое знание, не обращаясь к эксперименту и наблюдению, т.е. не выходя за рамки теоретической деятельности. Как уже отмечалось выше, системотехника использует знания различных научных дисциплин, в том числе естественнонаучных. Для естественнонаучной теории главным является решение задач с позиции отображения естественного процесса в целях прогнозирования и описания его будущих состояний. Из всех методологических концепций системотехническая

наиболее близка к «естественному» человеческому мышлению – гибкому, неформальному, разноплановому.

Системный подход объединяет естественно-научный метод, основанный на эксперименте, формальном выводе и количественной оценке, с умозрительным методом, опирающимся на образное восприятие окружающего мира и качественный синтез. Системотехника принимает как количественные, так и качественные оценки, однако отказывается от поэтапного решения и последовательного (вычислительного либо не вычислительного) алгоритма решения задач. Системотехника исходит из того, что для сложных проблем такого алгоритма может просто не существовать, а человеческий разум предназначен для решения именно сложных проблем. Относительно всей сложной и неоднородной совокупности системотехнических знаний формулируется задача целостного описания сложной системы как в практическом (по упорядочению знаний при проектировании, изготовлении и т.д.), так и в теоретическом плане. При этом неоднородность системотехнического знания заключается в том, что для решения поставленных задач в одних случаях существуют теоретические средства, а в других – нет.

Проблема целостного описания функционирования сложной системы решается в системотехнике тремя способами: с помощью инженерной практики, в виде структурных схем, на базе системного подхода. Первый способ представляет собой сочетание представлений различных научных дисциплин друг с другом и с инженерными представлениями без сведения их к единой теоретической основе. Это позволяет отдельному исследователю или разработчику при решении частной задачи строить каждый раз заново непохожие друг на друга модели сложных систем. Второй способ целостного описания связан с представлением сложного объекта в виде структурной схемы, т.е. как системы, через которую протекает поток либо вещества, либо энергии, либо информации (У. Гослинг называет их поточными диаграммами – flow diagram). Третий способ целостного описания сложной системы основывается на использовании системного подхода. Системные представления и понятия позволяют дать единое описание сложного объекта, сохранив его комплексный характер.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем (пер. с англ.). М., 1962. 384 с.
- [2] Звягин Л.С. Теория экономических систем и ее приложение в трудах г. Б. Клейнера// Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 7. № 8. С. 32-39.
- [3] Звягин Л.С. Проблемы внедрения системного анализа в целевом управлении// Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2017. № 1. С. 305-308.
- [4] Мохов А.И. Отличие в подходе системотехники и комплексотехники к созданию технических систем // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. № 1. Т. 7. С. 41-44.
- [5] Системотехника / Под. ред. А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. 768 с.