



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

А.В. Гинзбург, Л.А. Шилова, А.О. Адамцевич

СИСТЕМОТЕХНИКА СТРОИТЕЛЬСТВА

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7264-2003-5

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019



Москва
2019

УДК 62.52
ББК 32.81
Г49

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *С.И. Евтушенко*, профессор кафедры градостроительства, проектирования зданий и сооружений ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет» (НПИ) им М.И. Платова;

доктор технических наук, профессор *Е.А. Гусакова*, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ

Гинзбург, Александр Витальевич.

Г49 Системотехника строительства [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.В. Гинзбург, Л.А. Шилова, А.О. Адамцевич ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (1,2 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r91/cgiirbis64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2003-5 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-2002-8 (локальное)

В учебно-методическом пособии содержатся общие понятия системотехники и системного анализа, также представлены основы теории киберфизических строительных систем. Рассмотрены вопросы проектирования и представления строительства как системы. Даны пример и рекомендации по разработке имитационной модели строительной системы на языке PHP (Personal Home Page).

Для обучающихся по направлениям подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника и 27.06.01 Управление в технических системах.

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМОТЕХНИКИ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА. ТЕОРИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	6
1.1. Основные понятия теории систем.....	6
1.2. Системные свойства	7
1.3. Классификация систем	8
1.4. Структура системного анализа.....	12
1.5. Теория киберфизических строительных систем.....	14
Задания для выполнения практической работы	16
Темы для самостоятельного изучения	16
Вопросы для самоконтроля.....	17
Библиографический список	17
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО КАК СИСТЕМА	18
2.1. Строительное проектирование как система.....	18
2.2. Объект строительства как система.....	20
Задания для выполнения практической работы	22
Темы для самостоятельного изучения	22
Вопросы для самоконтроля.....	22
Библиографический список	22
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ СИСТЕМОТЕХНИКИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.....	24
3.1. Классификация видов моделирования	24
3.2. Разработка имитационных моделей строительных систем.	26
3.2.1. Задание и содержание практической работы.....	26
3.2.2. Краткие теоретические сведения	28
3.2.3. Практические рекомендации к разработке программы для ЭВМ.....	33
Оформление работы	38
Задания для выполнения практической работы	38
Темы для самостоятельного изучения	39
Вопросы для самоконтроля.....	39
Библиографический список	39
Заключение	40
Приложение	41

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе составлено в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и рабочей программой дисциплины «Системотехника строительства» для обучающихся по направлениям подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника и 27.06.01 Управление в технических системах.

Целью освоения дисциплины «Системотехника строительства» является формирование компетенций обучающегося в области применения общих принципов теории систем в приложении к строительным системам, системам проектирования, строительным объектам, а также применения в моделировании и критериальной основы моделирования при разработке строительных систем.

Освоение дисциплины включает курс лекций, практических занятий и самостоятельную работу обучающихся по следующим разделам:

- общие понятия системотехники и системного анализа. Теория киберфизических строительных систем;

- проектирование и строительство как система;

- практическое применение основ системотехники в строительных системах.

В соответствии с указанной структурой курса учебно-методическое пособие состоит из трех разделов. В начале каждого раздела приведено содержание практических занятий и дан минимально необходимый объем теоретической информации для его проведения. В первом разделе рассматриваются общие понятия системотехники и системного анализа, а также основы теории киберфизических строительных систем. Второй раздел посвящен вопросам проектирования и представлению строительства как системы. В третьем разделе даны пример и рекомендации по разработке имитационной модели строительной системы на языке РНР (Personal Home Page).

Вместе с тем в каждом разделе приведены темы для самостоятельного изучения.

Закрепить и проверить полученные знания, умения и навыки позволяют задания для выполнения практических работ, а также вопросы для самоконтроля в конце каждого раздела.

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМОТЕХНИКИ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА. ТЕОРИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В рамках практических занятий первого раздела дисциплины «Системотехника строительства» обучающийся получает знания по основным понятиям и терминологии системного подхода, отрабатывает структуру определения понятия, получает набор ключевых слов для определения, а также навыки определения термина или понятия с различных точек зрения.

1.1. Основные понятия теории систем

Общая теория систем, основой которой является системный подход, включает в себя научную и методологическую концепции исследования различных объектов, изучает различные аспекты, связанные с понятием системы. Согласно положениям рассматриваемой теории объектом исследования может быть не только реальная существующая система, но и система абстрактная, формальная, в которой можно установить взаимосвязь между ее основными признаками и свойствами.

Как и в любую другую науку, в основу общей теории систем заложены результаты предыдущих исследований, которые с конца XIX в. стали носить систематический характер.

В 20-х гг. XX в. ученым-экономистом А.А. Богдановым разработана научная дисциплина «Тектология» или «Всеобщая организационная наука», которая была представлена в трех томах одноименного труда. Дисциплина основывается на предположении о том, что несколько (от двух и более) элементов, которые вовлечены в единый процесс, могут превосходить по эффективности функционирование тех же самых элементов по отдельности при особой организации (организованности), а могут и уступать, затрудняя работу друг друга. Цель данной дисциплины сводится к рассмотрению, анализу и теоретизации фактора организации, правильное применение которого повышает эффективность элементов, входящих в состав целого.

Автором первого варианта общей теории систем является Л. фон Бергаланфи, основами трудов А.А. Богданова считаются работы Г. Спенсера, К. Маркса и других ученых.

Отметим, что первый вариант общей теории систем был предложен в 1930-х гг. и сводился к признанию изоморфизма* законов, управляющих функционированием системных объектов. При этом фон Бергаланфи обозначал связь теории систем с философией Г.В. Лейбница и Н. Кузанского.

Согласно этому учению физические системы отличаются от живых только тем, что закрыты по отношению к внешней среде, тогда как живые организмы являются открытыми, жизненный процесс которых «предполагает наличие входящего из окружающей среды потока материи, тип и объем которого определяется в соответствии с системными характеристиками организма. Также осуществляется вывод из системы в окружающую среду материи как результата функционирования системы» [13].

Сегодня общая теория систем включает наработки, накопленные как в «классической» общей теории систем, так и знания, полученные в кибернетике, результаты системного анализа, исследований операций и пр.

В рамках курса дисциплины «Системотехника строительства» под системой (др.-греч. σύστημα — «целое, составленное из частей; соединение») будем понимать «множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство» [1].

Система состоит из набора элементов, взаимодействующих между собой, для достижения поставленной цели — реализации функции системы.

Математически систему S можно представить следующим образом:

$$S = (A, R), \quad (1)$$

где A — множество элементов; R — множество отношений между A .

При этом при введении термина «система» возникают такие понятия, как «структура системы», «связи прямые и обратные».

Под структурой системы в указанном контексте принимается устойчивое множество отношений, которое длительное время и/или в течение интервала наблюдения остается неизменным.

* Изоморфизм (от др.-греч. ἴσος — «равный, одинаковый, подобный» и μορφή — «форма») — общее понятие, которое в различных разделах математики определяется по-разному. Изоморфизм определяется для множеств, наделенных некоторой структурой.

Связи в системе обеспечивают взаимодействие между элементами и/или подсистемами системы, а также с элементами и/или подсистемами окружения. **Прямые связи** используются для функциональной передачи вещества, энергии, информации или любых их комбинаций от одного элемента к другому в направлении основного процесса. Для отражения изменений состояния системы в результате управляющего воздействия на нее используются **обратные связи**.

Под строительной системой (подсистемой) в рамках рассматриваемого курса принимается функциональная система (подсистема), созданная для достижения заданного результата в строительстве.

Изучением систем занимаются такие инженерные и научные дисциплины, как теория систем, системный анализ, системотехника, кибернетика, системная инженерия, термодинамика и т.д.

Системотехника — это научно-техническая дисциплина, основной целью которой является изучение вопросов *проектирования и функционирования больших систем*.

Научная школа «Системотехника строительства», основателем которой по праву считается А.А. Гусаков, основана в 1974 г. в период, когда «получили решение проблемы, которые прежде были недоступны научному познанию, открыты новые методологические возможности для исследования, выдвинуты новые подходы к изучению сложных объектов, выявлены новые стороны этих объектов и развиты средства их изучения, выдвинут широкий спектр новых проблем и новых направлений исследований в области интеграции систем и объектов» [2].

В качестве методологической основы системотехники строительства А.А. Гусаковым использована **теория функциональных систем**, в которой под функциональной принимается система, сформированная для достижения определенной целевой функции.

Системный анализ позволяет всесторонне изучить систему как единое целое, а именно:

- учитывает все взаимосвязи в системе;
- изучает отдельные структурные части в системе;
- выявляет (определяет) роли каждой структурной части системы в общем процессе функционирования системы и наоборот;
- выявляет воздействия системы в целом на отдельные ее элементы.

1.2. Системные свойства

Все свойства систем можно разделить на три условные группы: статические, динамические и интегральные [3]. В табл. 1. представлено деление свойств систем по указанным группам.

Таблица 1

Свойства систем		
Статические	Динамические	Интегральные
Целостность Открытость Структурированность	Функциональность Изменчивость со временем Адаптируемость	Эмерджентность Устойчивость

К статическим свойствам системы относятся особенности конкретного состояния системы. По определению система состоит из элементов со связями между ними, объединенных одной целью. В связи с этим *целостность* системы — это способность элементов системы вносить вклад для реализации целевой функции системы.

Как ранее было определено, системой может быть в том числе часть, отличимая от всего остального, окружающего нас мира. Таким образом, *открытость* систем — свойство, характеризующее всеобщую взаимосвязь и взаимозависимость в природе.

Структурированность систем — упорядоченность системы, определенный набор и расположение элементов со связями между ними.

Динамические (изменяемые) свойства систем характеризуют особенности изменений со временем внутри системы и вне ее.

Функциональность систем — способность систем проявлять определенные свойства или функции в процессе взаимодействия с окружающей средой.

Изменчивость системы со временем — способность системы с течением времени изменяться. Это свойство приводит к тому, что при проведении исследований необходимо учитывать возможные изменения в системах, способствовать или противодействовать им, ускоряя или замедляя их при работе с существующей системой.

Вместе с тем с течением времени измениться может не только система, но и окружающий ее мир. Таким образом, возникает понятие *адаптируемости* систем, т.е. способность изменения поведения или структуры системы при изменении условий внешней среды с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств.

Последнюю группу составляют интегральные (обобщающие) свойства систем. К ним относятся:

– *эмерджентность* — наличие у системы особых свойств, не присущих ее элементам по отдельности, а также сумме ее элементов. Примером такого свойства могут быть два камня, использование которых совместно может привести к появлению искры, в то же время ни одному камню это свойство не присуще;

– *устойчивость* — способность системы противостоять внешним возмущающим воздействиям.

Отметим, что простые системы имеют пассивные формы устойчивости, такие как прочность, сбалансированность, регулируемость, гомеостаз; сложным системам присущи активные формы устойчивости, такие как: надежность — свойство сохранения структуры систем, несмотря на гибель отдельных ее элементов с помощью их замены или дублирования; живучесть — свойство систем подавлять вредные качества.

1.3. Классификация систем

Любой объект, живой организм, техническое устройство или часть реального мира можно рассматривать как систему, поэтому в зависимости от присущих системам признаков их можно разделить на классы, т.е. классифицировать.

Классификация (от лат. *classis* — «разряд» и *facere* — «делать») — понятие, обозначающее разновидность деления объема понятия по определенному основанию (признаку, критерию), при котором объем родового понятия (класс, множество) делится на виды (подклассы, подмножества), а виды, в свою очередь, могут делиться на подвиды и т. д.

Отметим, что в зависимости от поставленной цели можно выбирать разные принципы для классификации систем.

Общая классификация систем представлена на рис. 1.

К естественным системам относятся физические системы — «множество взаимосвязанных элементов, отделенных от окружающей среды, которое взаимодействует с ней как единое целое» [4]. Стоит также отметить, что элементами физических систем могут быть как физические тела, так и другие физические системы.

Этот класс велик, а значит, также может быть разделен по определенным признакам, например:

– в зависимости от поведения (по разделу физики) физические системы делятся на механические, термодинамические, электрические, магнитные, электромагнитные, оптические, квантовые, атомные, ядерные;

– по характеру взаимодействия с окружением (открытые, закрытые, изолированные);

– по принципу изменения свойств системы во времени (статические, динамические).

Биологические системы представляют собой «совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих живых элементов различной сложности (гены, клетки, ткани, органы, организмы, биоценозы, экосистемы, биосфера)» [5].

Технические искусственные системы также ориентированы на достижение какой-либо цели, но спроектированы и создаются только по желанию человека.

К социальным (общественным) относятся системы человеческого общества, также направленные на достижение какой-либо цели.

Организационно-техническая система (ОТС) представляет собой множество взаимосвязанных материальных объектов, включая технические средства и персонал, целенаправленно функционирующее для выполнения протекающих во времени взаимосвязанных действий, направленных на достижение поставленной цели.

Абстрактные системы принято делить на системы непосредственного отображения, которые отражают определенные аспекты реальных систем, и системы генерализирующего (обобщающего) отображения.

К первой группе относятся математические модели и логико-эвристические модели, речь о которых пойдет позднее, ко второй — концептуальные системы (теории методологического построения) и языки.

Кроме того, необходимо понимать, что любая система может быть охарактеризована не одним, а несколькими признаками, а значит, отнести ее можно к различным классификационным классам. Таким образом, целью любого деления систем на классы являются определение соответствующих приемов и методов системного подхода и выбор методологии исследования.

Учитывая вышесказанное, к классификационным признакам систем можно отнести природу элементов, сложность структуры, происхождение и пр. Рассмотрим более подробно некоторые из классификационных признаков систем.

По взаимодействию с внешней средой выделяют: открытые, закрытые и изолированные системы. Указанное деление систем основывается на их возможности сохранения первоначальных свойств при наличии внешних воздействий. В случае, когда система не чувствительна к внешнему воздействию, ее принято относить к классу закрытых систем, в противном случае система считается открытой.

Отметим, что все реальные системы, которые могут быть частью более обширной системы или нескольких систем, являются *открытыми*, т.е. взаимодействуют с окружающей средой.

Закрытые системы с окружающей средой не взаимодействуют или взаимодействуют по строго определенным правилам, например система обменивается с окружающей средой энергией, но не веществом. Любой элемент такой системы имеет связи только с элементами самой системы.

Изолированные системы с окружающей средой не взаимодействуют.

По структуре системы делятся на три класса: простые, сложные и большие.

Простые системы состоят из небольшого количества элементов и взаимосвязей, не имеют разветвленных структур и служат для выполнения простейших функций.

Систему, состоящую из множества взаимодействующих составляющих (подсистем), принято считать *сложной*.

С гносеологических позиций система является сложной, если ее исследование требует привлечения нескольких моделей теорий, а в отдельных случаях — нескольких научных дисциплин.

В книге Л.А. Растригина [6] к некоторым чертам сложной системы как объекта управления относят:

- отсутствие математического описания или алгоритма;
- затруднение наблюдения и управления;
- «нетерпимость» к управлению;
- нестационарность, выражающаяся в изменении параметров и характеристик системы;
- невозможность воспроизводимости экспериментов с системой.

К основным свойствам сложных систем относят следующие:

- 1) структурная сложность — число элементов системы и разнообразие типов связей (иерархических, функциональных, каузальных, т.е. причинно-следственных, пространственно-временных и пр.) между ними;
- 2) сложность функционирования;
- 3) сложность выбора поведения при многоальтернативных ситуациях;
- 4) сложность развития.

Таким образом, в настоящее время существует большое количество определений сложных систем. Общими чертами при этом остаются следующие: сложные системы состоят из большого числа элементов и взаимосвязей, характеризуются структурным разнообразием, выполняют сложную функцию или их ряд. Стоит отметить, что каждый компонент такой системы может рассматриваться как факторная подсистема (решающая, информационная, управляющая, гомеостазная, адаптивная).

Если систему невозможно наблюдать одновременно с позиции одного наблюдателя во времени или в пространстве, а число ее подсистем велико и состав разнороден, то такую систему принято называть *большой*.