

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «УрФУ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА»

Т. Б. Гаврилова, Л. Д. Гительман, М. В. Кожевников

СОЗДАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Фундаментальный курс системной грамотности
для менеджеров

Москва
СОЛОН-ПРЕСС
2024

УДК 62.0:005
ББК 30+65.291.2
Г12

Рецензенты:

Акбердина В. В., заместитель директора Института экономики УрО РАН, доктор экономических наук, член-корреспондент РАН;

Романова О. А., главный научный сотрудник Центра структурной политики Института экономики УрО РАН, доктор экономических наук, профессор;

Мурманский Б. Е., заместитель главного инженера филиала «Свердловский» ПАО «Т Плюс», доктор технических наук

Гаврилова, Т. Б.

Г 12 Создание сложных систем. Фундаментальный курс системной грамотности для менеджеров / Т. Б. Гаврилова, Л. Д. Гительман, М. В. Кожевников. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2024. – 152 с. – Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-91359-618-5

Монография знакомит читателей с новейшими методологиями и инструментами, востребованными при создании крупных производственных комплексов с учетом особенностей их жизненного цикла, а также в руководстве инновационными проектами. Использование продемонстрированных в книге преимуществ системной инженерии позволит менеджерам и командам, включающим специалистов разных профессий, создавать системы, способные реагировать на внешние воздействия, и управлять процессами развития на основе учета рыночных трендов, технологических возможностей и рисков, генерируемых возрастающей неопределенностью контекста.

Рекомендуется руководителям и специалистам промышленных предприятий, занимающимся освоением новой техники, модернизацией высокотехнологичных производств, решением проблем импортозамещения, а также магистрантам и аспирантам инженерных, управленческих и экономических специальностей.

УДК 62.0:005
ББК30+65.291.2

ISBN 978-5-91359-618-5

© СОЛОН-ПРЕСС, 2024
© Гаврилова Т. Б., Гительман Л. Д.,
Кожевников М. В., 2024
© Реутов В. И., обложка, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Системная инженерия – это интересно для практики	
Из беседы с главным инженером крупной энергокомпании.....	7
Вступительная статья. Методологии работы менеджмента со сложными системами в условиях неопределенности.....	11
Глава 1. Системность в науке и практике.....	25
1.1. Понятие и характеристики сложных систем	25
1.2. Системное мышление.....	29
1.3. Системный подход	33
Глава 2. Системная инженерия: область деятельности и решаемые задачи	42
2.1. Эволюция системной инженерии	42
2.2. Стандарты – инструментальная основа практики	43
2.3. Системная инженерия как технология управления.....	45
Глава 3. Жизненный цикл систем.....	51
3.1. Модель жизненного цикла	51
3.2. Процессы жизненного цикла	57
Глава 4. Проектирование систем, обладающих повышенной адаптивностью	71
4.1. Свойство адаптивности, встроенное в систему	71
4.2. Принципы разработки адаптивных систем	72
4.3. Обеспечение адаптивности в социотехнических системах	76
Глава 5. Гибкие методологии системной инженерии	81
5.1. Понятие гибких методологий	81
5.2. Методы и инструменты обеспечения гибкости	85
5.3. Направления использования гибких методологий	89
Глава 6. Перспективы развития системной инженерии	92
6.1. Факторы развития	92
6.2. Актуальные направления	98
6.3. Формирование теоретических основ системной инженерии.....	103
Кейс 1. Системная грамотность – императив при создании сложных систем.....	108
Кейс 2. Использование системного подхода при разработке стратегии для условий повышенной неопределенности.....	121
Заключительная статья. Междисциплинарные компетенции управления сложными системами при технологической модернизации	127
Подведение итогов	142
Список литературы	145

ПРЕДИСЛОВИЕ

Системная инженерия приобрела популярность и стала интенсивно распространяться в практике создания сложных систем в конце прошлого века. Сегодня это широко распространенная методология разработки и сопровождения объектов самого разного масштаба и назначения.

Проблемы, инициировавшие развитие системной инженерии, были связаны с интенсивным возрастанием сложности проектируемых систем, в немалой степени обусловленным стремительным развитием информационных технологий. Появилась техническая возможность практического решения задач, которые раньше не выходили за пределы теоретических исследований. Компьютерные системы наращивали вычислительную мощность, а системы хранения данных становились дешевле и производительнее. Возрастала функциональность программного обеспечения, а использующие его системы становились все более сложными и зависимыми от компьютерной поддержки. Проектирование и использование таких систем невозможно было осуществлять прежними способами.

Системы, разработанные по всем правилам традиционной инженерии и собранные из частей (подсистем), создаваемых по отдельности, оказывались неработоспособны или не выполняли целевые функции на требуемом уровне. При их эксплуатации возникали неожиданные проблемы, а желаемые характеристики не достигались. Некоторые из разработанных систем были вообще непригодны для использования. Проекты выбивались из графика, выполнялись с существенным превышением бюджета, а функциональность созданных систем часто не удовлетворяла заказчиков.

Потребовалось разработать методологию, позволяющую снизить риски и влияние системных ошибок, обеспечить взаимодействие на стыке дисциплин, где чаще всего и возникают непредвиденные сложности. *Такой методологией стала системная инженерия, которая вошла в инженерную практику именно как способ преодоления сложности разрабатываемых и сопрягаемых систем, как междисциплинарный подход и средства, необходимые для создания успешных систем.*

Конечно, результативность использования данной методологии в значительной степени зависит от позиции менеджеров, от их понимания роли системной инженерии при реализации проектов, возможностей, которые она открывает для бизнеса, условий ее успешного применения для решения острых проблем.

При этом следует учитывать значительные изменения в контексте, в котором предстоит работать менеджерам. На наших

СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ – ЭТО ИНТЕРЕСНО ДЛЯ ПРАКТИКИ

Из беседы с главным инженером крупной энергокомпании



Во время нашей встречи собеседник обратил внимание на лежащую на столе книгу «Системная инженерия: принципы и практика» (авт. Косяков А., Свит У. и др. [12]).

– *Системная инженерия? Все это очень туманно и довольно просто для понимания. Успешные технологические системы, например АЭС, и раньше создавали без всякой системной инженерии.*

– Да, это так. Но над такими системами работали штучно и допускали много ошибок, которые потом долго устраняли уже в процессе эксплуатации. Это было дорого и неэффективно. Даже при проектировании крупных промышленных объектов процедура была стереотипная: техническое задание – технико-экономическое обоснование – технический регламент – технический проект – рабочий проект... Главный инженер проекта распределял работу по отделам, руководители отделов – по сотрудникам. График и бюджет под контролем. За качество проектных решений отвечают специалисты. Чем выше их квалификация, тем успешнее проект. Проектировщики сдали документацию заказчику. Тот нашел подрядчиков, передал проектную документацию. Утвердили смету и график, открыли титул, начали осваивать финансирование... И вот объект готов, ленточку перерезали, сдали в эксплуатацию. За 1–2 квартала исправили замеченные комиссией недоделки, и началась пусконаладка. Проектировщики, монтажники, эксплуатационники совместными усилиями (штурмом) выводят объект на проектную мощность, и он начинает функционировать. Конечно, все это в идеале. В жизни проблемы возникали повсеместно. Но они решались соответствующими специалистами. Нет смысла обсуждать здесь всевозможные ошибки и накладки. Их было немереное количество, но причины их были обычно понятны и устранимы. Зоны ответственности были четко разграничены. Исполнители по мере накопления опыта совершали меньше ошибок и учились видеть потенциальные проблемы заранее. Квалификация исполнителей всех уровней, дисциплина и ответственность руководителей – вот критические факторы успеха подобных проектов.

Системная инженерия появилась и начала формироваться в отдельную область деятельности тогда, когда сложность проектируемых объектов (взаимосвязи и взаимозависимости ком-

¹ Полная версия статьи опубликована в WIT Transactions on Ecology and the Environment [41]; авторы Л. Д. Гительман, Т. Б. Гаврилова, М. В. Кожевников.

ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ¹

Методологии работы менеджмента со сложными системами в условиях неопределенности

Взрывной характер распространения новых технологий, качественный рост сложности создаваемых на их основе технических и социотехнических систем, насыщение искусственным интеллектом технологических цепочек, развитие компьютерно-интегрированных производств и цифровизация определяют лавинообразный рост вновь возникающих проблем – многократно более сложных, требующих для своего решения новых инструментов как в инженерии, так и в менеджменте, опирающихся на новые знания и большое количество информации.

При этом все более актуализируется проблема, связанная с тем, что сложные системы не имеют законченного вида (решений) и должны постоянно дорабатываться, изменяясь под новые требования. Такая проблема в принципе стояла и раньше в инженерии сложных систем, но сегодня при высокой неопределенности и динамике перемен, в какой-то мере даже хаотичных, она становится особо актуальной и значимой. Системы для своей жизнестойкости должны постоянно развивать гибкость и адаптивность, т. е. учитывать факторы неопределенности будущего. Поэтому изначально, уже на стадии проектирования, в них закладывается способность быстро изменяться (трансформироваться), а также возможность проактивных действий с помощью:

- создания разнообразных резервов для непредвиденных обстоятельств;
- постоянного мониторинга слабых сигналов и цифровых индикаторов;
- модульного строения и инфраструктуры, обеспечивающей оперативные изменения (замену одних модулей на другие).

Все это увеличивает стоимость системы, однако появляются и важные преимущества: гибкость, надежность, возможность быстрой смены (переналадки) производственных процессов. Эти параметры сегодня являются определяющими для органов государственного управления, бизнеса и, конечно, университетов, перед которыми возникает новый императив – опережающее обучение. С помощью компетенций, осваиваемых опережающе, определяется происходящее за границами системы, оцениваются возможности изменений, подбираются необходимые инструменты.

Практике потребовалось разработать методологию, позволяющую снизить риски и влияние системных ошибок, обеспечить взаимодействие на стыке дисциплин, где чаще всего возникают непредвиденные сложности. *Системная инженерия*, демон-



Рис. 2. Компетенции команды прорыва

Командная работа, нацеленная на прорыв, в качестве приоритета реализует создание кадрового ресурса для внедрения продуктовых, технологических и управленческих решений и занятия лидирующих рыночных позиций не только в самой команде, но и в целом в организации. При этом выбор направления прорыва осуществляется самой командой и согласуется с руководством, исходя из актуальных проблем развития. Например, в качестве таковых может быть принято создание принципиально новых производств и технологий; освоение инновационных бизнес-моделей; цифровизация системы управления активами и затратами.

На рис. 3 приведены основные требования, которые предъявляются к содержанию и условиям формирования компетенций междисциплинарной команды.

Программа подготовки команды в части методов и инструментов системной инженерии включает:

1) *теоретическую часть*: научные основы системного подхода; роль науки о системах; различия во взглядах на понятие «система»; эволюция определения системной инженерии; прикладное значение концепции системного мышления применительно к социотехническим системам; моделирование систем как основа для проектирования и управления; модели и процессы жизненного цикла систем; характеристики сложных систем и обеспечение их жизнеспособности; использование принципов проектирования эластичных систем; особенности организационной культуры, поддерживающей адаптивность; создание и развитие систем, ориентированных на непрерывные изменения в турбулентной среде;

ГЛАВА 1. СИСТЕМНОСТЬ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ

Применение системного подхода к решению практических задач существенно отличается от его использования в научных целях. В данной главе рассмотрены эти особенности.

1.1. Понятие и характеристики сложных систем

Понятие «система» не имеет единого общепринятого определения. Существует по меньшей мере несколько десятков различных трактовок этого понятия. Основной фактор, влияющий на различия в определениях, состоит в том, что в понятии «система» есть двойственность: с одной стороны, его применяют для обозначения реально существующих объектов и явлений, а с другой – используют как метод изучения и представления окружающего мира.

В связи с этой двойственностью авторы определений различают как минимум два аспекта: как отличить системный объект от несистемного и как сконструировать систему для последующего воплощения или исследования. На основе первого подхода дается *дескриптивное (описательное)* определение системы, а на основе второго – *конструктивное*. Науку в большей степени интересует первый из описанных подходов, а инженерию и менеджмент – второй.

Пример дескриптивного определения:

система – совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой (К. Л. фон Бергаланфи [22]).

Пример конструктивного определения:

система – комбинация взаимодействующих элементов, организованных для достижения одной или нескольких поставленных целей [54].

Систему характеризует набор свойств, к которым относятся следующие.

Целостность – фундаментальное свойство, которое, по существу, и определяет систему. Целостность системы подразумевает, что в некотором существенном аспекте «сила» или «ценность» связей элементов *внутри системы* выше, чем сила или ценность связей элементов системы с элементами внешних систем или среды.

Понятие целостности тесно связано с такими важными терминами, как *структура* и *поведение*, которые являются основными свойствами всех созданных человеком систем.



Карл Людвиг фон БЕРТАЛАНФИ – австрийский биолог, первооснователь обобщенной системной концепции «Общая теория систем»

ГЛАВА 3. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СИСТЕМ

Модель жизненного цикла идентифицирует основные стадии, через которые проходит система от начала до конца своей жизни. Модели жизненного цикла применяются в основном на стадии разработки и тесно увязаны с управлением проектом, планированием и принятием решений.

3.1. Модель жизненного цикла

Разработке системы предшествует выбор модели жизненного цикла. В самом общем виде такая модель (рис. 17) определяет стадии жизненного цикла и действия, выполняемые техническим и управленческим персоналом на каждой из них. Заканчивается стадия только после того, как разработчики и ключевые стейкхолдеры примут решение о переходе на следующую стадию. Альтернативные решения: продолжать работу на текущей стадии, вернуться к предыдущей, скорректировав задачи, или прекратить работу над системой.

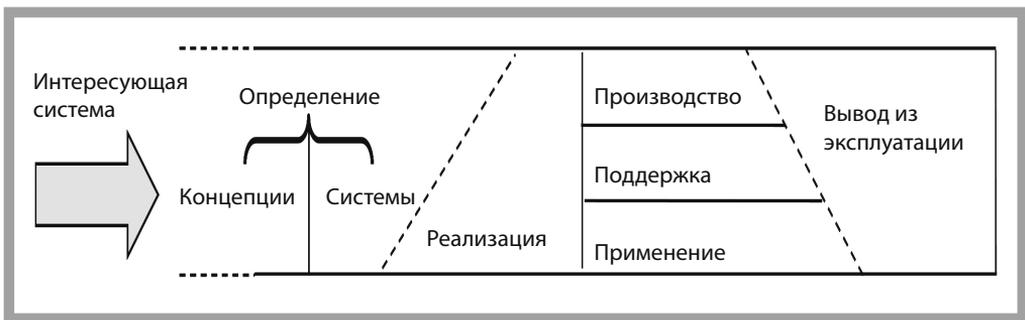


Рис. 17.
Принципиальная
модель жизненного
цикла системы [45]

Стадия *определения концепции* начинается с решения основного заказчика инвестировать ресурсы в новую систему или в улучшение существующей. Процесс начинается с соглашения стейкхолдеров, определяющего контекст системы и выбор задачи на проектирование (разработка новой системы или модификация существующей).

Стадия *определения системы* начинается, когда ключевые стейкхолдеры решат, что оправдано выделение ресурсов, необходимых для проработки деталей системы, уточнения затрат жизненного цикла и предоставления основы для изготовления системы в случае ее пригодности для поставленных задач.

Таблица 9

**Примеры учебных модулей и междисциплинарных компетенций,
формируемых в магистратуре**

Модуль	Вид формируемых компетенций	Конкретные компетенции в результате обучения
Наукоемкие технологии – основа цифровизации отрасли	Инженерно-экономические и управления цифровыми ресурсами	Разработка концепции инженерного проекта нового изделия
Кадры и компетенции для цифровой экономики	Мягкие	Профессиональное саморазвитие, наращивание и использование творческого потенциала. Решение сложных организационно-управленческих задач на основе применения системного анализа
Лидерство в цифровой реальности	Упреждающих действий	Разработка бизнес-моделей и стратегий лидерства для бизнеса в цифровой среде
Экономика – финансы – инвестиции инновационного бизнеса	Инженерно-экономические	Применение аналитических и финансово-инвестиционных инструментов при принятии упреждающих решений
IT-ресурсы инновационного бизнеса	Управления цифровыми ресурсами	Обеспечение сопряженности организационных систем с информационными технологиями
Стартапы и технологическое предпринимательство	Инженерно-управленческие	Целостное видение системы: тренды – прорывные технологии – перспективные рынки – интеллектуальный потенциал организации
Менеджмент, действующий на опережение	Упреждающих действий Методологические Исследовательские	Создание системы раннего обнаружения новых возможностей
Риски в условиях неопределенности		Формирование концепций развития в условиях неопределенности
Стратегический контекст		Исследование и анализ новых рынков и технологий

Цели и методы междисциплинарной подготовки менеджеров разных должностных уровней различаются между собой. Так, для менеджеров нижнего уровня наиболее важным является усвоение взаимосвязей между системами управления и умение решать нетиповые задачи. В приоритете для топ-менеджеров – формирование комплексного видения будущего, развитие компетенций масштабных преобразований, управление человеческим капиталом, трансформация стратегических приоритетов (табл. 10). Из таблицы видно, что с каждым уровнем ответственности возрастает диапазон междисциплинарности.

Научное издание

Гаврилова Татьяна Борисовна
Гительман Леонид Давидович
Кожевников Михаил Викторович

Уральский федеральный университет

СОЗДАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Фундаментальный курс системной грамотности
для менеджеров

Редактор *М. Э. Чупрякова*
Компьютерная верстка *А. П. Никифоров*

Оригинал-макет подготовлен в Издательском доме «Автограф».
г. Екатеринбург
<https://idavtograf.ru/fiction>

По вопросам приобретения обращаться:

ООО «СОЛОН-ПРЕСС»
115487, г. Москва, пр-кт Андропова, д. 38, пом. 8, комн. 2
Телефон: (495) 617-39-64
E-mail: kniga@solon-press.ru, www.solon-press.ru

Распространение через сеть магазинов и маркетплейсов

ООО КТК «Галактика»
115487, г. Москва, проспект Андропова, д. 38
Телефон: (499) 782-38-89
E-mail: books@aliens-kniga.ru, <https://www.galaktika-dmk.com/>

ООО «СОЛОН-ПРЕСС»
115487, г. Москва,
пр-кт Андропова, дом 38, помещение № 8, комната № 2.
Формат 70×100/16. Печать офсетная. Усл.печ.л. 12,3. Уч.-изд. 10,7
Тираж 1000 экз.