



Системная грамотность – новая перспектива для инновационных менеджеров и инженеров

Л.Д. Гительман¹
Т.Б. Гаврилова¹
М.В. Кожевников¹

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

Аннотация

В статье приведены результаты исследования, подтверждающие высокую актуальность формирования у специалистов, задействованных в проектах технологической модернизации и импортозамещения, новой критически важной компетенции – системной грамотности, предполагающей целостное видение междисциплинарных взаимосвязей сложных систем. Показано, что системная грамотность базируется на системном мышлении и владении методологиями системной инженерии, особо актуальными при разработке социотехнических систем, включающих компоненты разной природы, и их эксплуатации на протяжении жизненного цикла. Выполнен анализ различий инженерного и управленческого взглядов на сложность, с учетом которого обоснована востребованность подготовки инновационных команд, объединяющих специалистов разных предметных областей. Сформулированы требования к образовательным продуктам нового поколения, реализующим опережающее обучение инженерно-экономическим компетенциям, необходимым для принятия интегрированных решений сложных проблем, и приведен соответствующий опыт кафедры систем управления энергетикой и промышленными предприятиями Уральского федерального университета, апробированный при подготовке руководителей высокотехнологичного бизнеса. Специфика применения системной грамотности показана на примере задачи энергетического перехода, напрямую определяющей достижение технологического суверенитета и предполагающей проведение глубоких преобразований в различных отраслях и рыночных субъектах.

Ключевые слова: системный подход, системная инженерия, междисциплинарность, моделирование, жизненный цикл, инновации.

Для цитирования:

Гительман Л.Д., Гаврилова Т.Б., Кожевников М.В. (2024). Системная грамотность – новая перспектива для инновационных менеджеров и инженеров. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 15(2): 118–133. DOI: 10.17747/2618-947X-2024-2-118-133.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Systems literacy – A new perspective for innovation managers and engineers

L.D. Gitelman¹
T.B. Gavrilova¹
M.V. Kozhevnikov¹

¹ Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)

Abstract

The article presents the results of a study that confirms the high relevance of developing a new critical competence among specialists involved in technological modernisation and import substitution projects – systems literacy, which requires a holistic vision of the interdisciplinary relationships of complex systems. The authors demonstrate that systems literacy is based on systems thinking and systems engineering methodologies, which are particularly relevant to the development of sociotechnical systems that include components of different nature, and their operation throughout their life cycle. An analysis of the differences between engineering and management views of complexity has been carried out, justifying the need to train innovative teams that bring together specialists from different disciplines. The requirements for a new generation of educational products providing advanced training in engineering and economic skills necessary for the development of integrated solutions to complex problems are formulated, and the relevant experience of the Department of Energy and Industrial The management systems of the Ural Federal University, tested in the training of high-tech managers, are presented. The specificity of the application of systems literacy is illustrated by the example of the energy transition problem, which directly determines the achievement of technological sovereignty and involves deep transformations in various industries and market entities.

Keywords: systems literacy, systems approach, systems engineering, interdisciplinarity, modelling, life cycle, innovation.

For citation:

Gitelman L.D., Gavrilova T.B., Kozhevnikov M.V. (2024). Systems literacy – A new perspective for innovation managers and engineers. *Strategic Decisions and Risk Management*, 15(2): 118–133. DOI: 10.17747/2618-947X-2024-2-118-133. (In Russ.)

Acknowledgment

Research funding from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Ural Federal University Development Programme within the Priority-2030 Programme) is gratefully acknowledged.

系统思维是创新经理和工程师的新视角

L.D. Gitelman¹
T.B. Gavrilova¹
M.V. Kozhevnikov¹

¹ 俄罗斯第一任总统鲍里斯·叶利钦命名的乌拉尔联邦大学 (俄罗斯叶卡捷琳堡)

简介

文章中提供了研究结果，证实了在参与技术现代化和替代进口项目的专家中，形成一种新的关键能力——系统思维的高度重要性。这种能力意味着能够全面理解复杂系统之间跨学科的相互关系。研究表明，系统思维的基础是系统工程思维和方法的掌握，这在开发包含不同性质组件的社会技术系统，并在其整个生命周期内进行操作时尤为重要。分析了工程师和管理者在复杂性问题上的不同观点，从而论证了跨学科专家组成的创新团队的需求。新一代教育产品的要求已经明确，这些产品实现了对工程经济能力的超前培训，这种能力对于解决复杂问题并采取综合性解决方案至关重要。文章提及了乌拉尔联邦大学能源与工业企业管理系在培养高科技业务领导者时所获得的相关经验。

系统思维的应用特点可以通过能源转型问题来展示，这直接影响到技术主权的实现，并预示在不同行业和市场主体中进行深刻变革。

关键词：系统方法，系统工程，跨学科，建模，生命周期，创新。

引用文本：

Gitelman L.D., Gavrilova T.B., Kozhevnikov M.V. (2024). 系统思维是创新经理和工程师的新视角. *战略决策和风险管理*, 15(2): 118–133. DOI: 10.17747/2618-947X-2024-2-118-133. (俄文)

感谢的话

研究得到了俄罗斯联邦教育与科学部在俄罗斯第一任总统鲍里斯·叶利钦命名的乌拉尔联邦大学“2030优先战略学术领导计划”框架内的财政支持。

Введение

Бурное развитие технологий, глобальные мегатренды, распространение цифровых экосистем, многообразие разнородных данных, расширение сферы использования искусственного интеллекта – все это ведет к значительному повышению сложности систем. Создание систем и управление ими на протяжении жизненного цикла требует от менеджеров и инженеров все более глубокого понимания их природы и закономерностей контекста, в котором они эволюционируют, следовательно, системного восприятия действительности¹. Системная грамотность сочетает в себе концептуальные знания (свойств и поведения сложных объектов, процессов, явлений) и аналитико-мыслительные навыки (видение проблемы в широком контексте, на нескольких уровнях перспективы, отслеживание сложных взаимосвязей, анализ эндогенных и экзогенных факторов, распознавание закономерностей и прогнозирование изменений в поведении системы с течением времени для подготовки вариантов упреждающих решений) [Sweeney, 2018].

Потребность в системной грамотности обусловлена следующими причинами.

1. Изменения в природе, обществе под влиянием глобальных трендов, развития технологий, усиления взаимосвязей и взаимозависимости между людьми, рыночными и государственными структурами требуют новых подходов к оценке ситуаций, принятию решений, организации повседневной деятельности.

2. Традиционный аналитический подход, основанный на линейных причинно-следственных зависимостях, в этих условиях не применим (вызывает непредвиденные последствия и порождает новые проблемы).

3. Системность реального мира стала определяющим фактором – ее больше невозможно игнорировать. Мировые кризисы, изменение климата, ускоряющиеся изменения в развитии коммуникаций, логистических цепочках, создание платформенных моделей и экосистем в бизнесе можно рассматривать только с позиций системного подхода.

4. Новые способы мышления, действий, взаимоотношений требуют всеобъемлющего понимания структуры и поведения системы как от исследователей, проектировщиков, менеджеров, так и от специалистов, готовящих или принимающих решения.

¹ Systems engineering vision 2035. Engineering solutions for a better world (2022). The International Council on Systems Engineering (INCOS). <https://www.incose.org/about-systems-engineering/se-vision-2035>.

От владения системной грамотностью также зависит, сможет ли менеджер объяснить на понятном для стейкхолдеров языке, в какой системе выполняется работа, каковы ее ключевые особенности и чего ожидать от этой системы в процессе ее эволюции [Dubberly, 2014]². Таким образом, системная грамотность становится ключом к принятию комплексных инженерных, финансовых, организационных решений при создании и развитии системы. При этом используется специальный профессиональный язык.

Начальный уровень системной грамотности начинается с умения представить объект управления в виде системы. Это предполагает понимание взаимосвязей внутри системы, структуры ее компонентов, особенностей поведения системы во внешней среде, функций, которые она должна выполнять на протяжении жизненного цикла. На данном уровне принципиально важно уметь четко описать системный контекст – совокупность факторов и обстоятельств в окружении рассматриваемой системы, влияющих на ее состояние и развитие.

Системный контекст описывает все внешние элементы, которые взаимодействуют через границу конкретной интересующей нас системы, и дает достаточное представление об элементах внутри ее границ. Чтобы полностью понять контекст, необходимо также идентифицировать характеристики среды, в которой находится рассматриваемая система, – так называемое системное окружение. Рассмотрение систем в контексте позволяет сосредоточиться на самой системе, сохраняя при этом более широкую системную перспективу. При этом, как отмечает Д. Мартин [Martin, 2004], требуется учет междисциплинарного влияния на нее других систем, которые в той или иной степени определяют возможности функционирования и развития интересующей нас системы на протяжении ее жизненного цикла. Кроме того, следует понимать, что динамика контекста во многом зависит от стейкхолдеров, зачастую имеющих различные, а порой даже конфликтующие взгляды на цели создания систем и интересы при их использовании³.

1. Сущность системного подхода

Системный подход рассматривает объект (явление, процесс) как холон – сущность, которая сама по себе является целой системой и в то же время частью другой системы, которая взаимодействует с мозаикой других холонов в своей более широкой среде, но при этом состоит из взаимодействующих частей [Koestler, 1967; Hybertson, 2009]. Это означает, что важным навыком системного подхода является выявление «естественных холонов» в проблемной ситуации и процессах принятия решений, а также распределение их ответственности за определенные функции. Поэтому систем-

ный подход определяет проблемы, решения и сам процесс принятия решений с учетом следующих требований:

- рассмотрение проблемы целостно, с учетом границы проблем и взаимосвязи систем;
- выработка решений, уменьшающих организованную сложность;
- анализ контекста системы, генерирующей потенциальные проблемы и возможные решения (рис. 1).

Системный подход включает целостное системное представление, которое охватывает более широкий контекст системы, включая инженерную и операционную среду, заинтересованные стороны и весь жизненный цикл. Для реализации системного подхода предложен ряд руководящих положений [Hitchins, 2009].

1. Системность – любую интересующую нас систему (SoI) необходимо рассматривать в более широком системном контексте.

2. Синтез – системная инженерия должна сводить воедино все части и вырабатывать решения для системы в целом.

3. Холизм (цельность) – принимая решения для отдельных элементов, всегда следует просчитывать их последствия для системы в целом.

4. Аналогия с организмами – всегда рассматривать систему как живой организм, меняющий свое поведение в ответ на изменения среды.

5. Адаптивная оптимизация – решать проблемы по мере их поступления.

6. Прогрессивное снижение энтропии – проектировать на ранних стадиях жизненного цикла все необходимые действия по обслуживанию, поддержке и обновлению системы.

7. Адаптивное соответствие – проектировать жизненный цикл системы исходя из потребностей критических для успеха стейкхолдеров.

Важная область применения системного подхода – использование на практике принципов системной инженерии

Рис. 1. Пример анализа контекста индустрии радиоэлектроники и информационных технологий
Fig. 1. An example of a contextual analysis of the radio electronics and information technology industry



² См. также: Sustainability studies: A systems literacy approach. (2023). <https://courses.lumenlearning.com/suny-sustainability-a-comprehensive-foundation/chapter/sustainability-studies-a-systems-literacy-approach/>.

³ Systems literacy (2021). <https://systemsscience literacy.org>.

при создании и развитии сложных систем [Sillitto, 2010]. На базе этих принципов формируются руководства по применению процессов системной инженерии. В зависимости от назначения, области применения и степени изученности проблемной области такие руководства имеют широкий диапазон действия: от эвристик (обобщения практического опыта) до моделей (созданных на основе теоретических разработок). Все они поддерживают целенаправленные суждения или действия в контексте, но могут сильно различаться по объему, полномочиям и предоставляемым возможностям. По мере накопления опыта возможности их применения расширяются. Принципы системной инженерии имеют различное происхождение, они основаны как на практике, так и на теории [Rousseau et al., 2022], а действующие стандарты и руководства системной инженерии включают в себя многие элементы системного подхода. В качестве примеров можно привести ряд принципов, предложенных Международным советом по системной инженерии⁴.

1. Применение системной инженерии зависит от потребностей стейкхолдеров, пространства и результатов системных решений, а также изменений контекста на протяжении всего жизненного цикла системы. Во внимание принимаются бюджет, график, технические потребности, другие ожидания и ограничения.

2. Системная инженерия формирует целостное представление о системе, ее элементах, взаимодействиях между ними, различных факторах (политических, экономических, социальных, технологических, экологических, правовых).

3. Реальная система может быть описана лишь идеальным представлением, то есть идеальной моделью.

4. Решения системной инженерии принимаются в условиях неопределенности с учетом риска.

5. Сложные системы разрабатываются адекватными по сложности организованными структурами.

2. Системную грамотность развивают методологии системной инженерии

В качестве основного объекта разработки и сопровождения в системной инженерии приняты социотехнические системы [Checkland, 1978]. По своей сути эти системы создаются для определенной цели и требуют поддержания жизненного цикла.

В системной инженерии идею контекста спроектированной системы используют для того, чтобы выделить ту систему, жизненный цикл которой необходимо поддерживать (SoI), а также зафиксировать и согласовать важные взаимосвязи между ней и системами, с которыми она взаимодействует напрямую или косвенно. Выбор границы SoI для конкретных видов деятельности зависит от того, что можно изменить, а что должно остаться неизменным.

В процессах проектирования и взаимодействия участников полезно сдвигать границы: рассматривать интересующую систему в узком смысле, охватывающую ее систему – в широком смысле, а также среду ближнего и дальнего окружения. Такой способ представления объекта позволяет

найти наиболее целесообразные решения в запутанных ситуациях. Полезно также учитывать различия в понимании целей и области использования системы разными группами стейкхолдеров.

Для системной инженерии задача преодоления сложности имеет первостепенное значение. При этом различают несколько ее категорий. Структурная сложность определяется количеством разнородных элементов и их взаимосвязями. Динамическая сложность выявляется по изменению поведения системы, выполняющей свои задачи во взаимодействии с внешней средой. Социально-политическая сложность свойственна системам, включающим людей, которые вносят в поведение системы дополнительные элементы сложности. Различные виды сложности взаимосвязаны между собой и требуют внимания при проектировании и эксплуатации систем.

Субъективно сложность измеряется тем, насколько легко наблюдателю понимать систему или предсказывать, что с ней будет происходить в будущем. Таким образом, она зависит от личных качеств наблюдателя (осведомленности, понятливости).

Объективно сложность является атрибутом сложных систем, измеряемым в определенном диапазоне значений от упорядоченности до полного беспорядка. Она определяется как степень невозможности предсказать будущее состояние системы, исходя из имеющихся знаний о ее текущем состоянии и истории. Для оценки объективной сложности используется ряд характеристик элементов системы и взаимосвязей между ними: независимость, взаимосвязанность, разнородность, адаптивность.

Системная инженерия накопила богатый опыт применения системного подхода на практике для идентификации и понимания сложных проблем и возможностей, для синтеза альтернативных вариантов решения, анализа и выбора лучшего из них, для применения выбранного решения, а также связанных с ним вариантов действий в области развертывания, использования и поддержки спроектированных систем.

Одной из фундаментальных основ системной инженерии является внимание к разработке и сопровождению систем с позиций полного жизненного цикла. При этом системная инженерия обеспечивает всестороннее исследование проектируемой системы на ранних стадиях, активное взаимодействие всех заинтересованных лиц, внесение изменений в системные требования по мере получения новой информации, междисциплинарные коммуникации, моделирование поведения системы в течение всего жизненного цикла. В результате снижаются риски, появляется возможность выявлять дефекты на ранних стадиях проекта. Общие затраты жизненного цикла существенно уменьшаются. Проекты выполняются в соответствии с графиком, поскольку значительно сокращается время на исправление допущенных ошибок проектирования. По той же причине снижается риск превышения бюджета проекта, повышается качество разработки и эксплуатационные характеристики системы. Этот эффект в наибольшей степени проявляется в системах, которым свойственно быстрое расширение (масштабируемость), динамизм, взаимозависимость, взаимодействие с людьми, использование новых и потенциально опасных технологий.

⁴ Systems engineering vision 2035... <https://www.incose.org/about-systems-engineering/se-vision-2035>.

Рис. 2. Принципиальная модель жизненного цикла системы
Fig. 2. Basic model of the system life cycle

Источник: адаптировано авторами по: Guide to the systems engineering body of knowledge. [http://sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_\(SEBoK\)](http://sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)).

Модель жизненного цикла идентифицирует основные стадии, через которые проходит система от начала до конца своей жизни (рис. 2). Модели жизненного цикла применяются в основном на стадии разработки и тесно увязаны с управлением проектом, планированием и принятием решений.

Принципиальная модель жизненного цикла описывает набор стадий цикла и их связи. Для успешного выполнения каждой стадии необходимы определенные технические и управленческие действия. Набор таких действий, связанных с той или иной стадией жизненного цикла, определен как отдельный процесс жизненного цикла. Международный стандарт, определяющий процессы жизненного цикла систем ISO/IEC/IEEE 15288:2015, включает наряду с техническими процессами управленческие. К ним относятся процессы проекта, процессы соглашений и процессы организационного обеспечения проекта.

Ветвь системной инженерии, обеспечивающая разработку адаптивных систем (Resilience engineering), использует средства, позволяющие избежать разрушений за счет упреждающих действий и повышения жизнеспособности системы (восстановления функциональности после сбоя). Характерные признаки систем, обладающих resilience, и принципы их проектирования представлены в работах [Madni, Jackson, 2009; Jackson, 2016].

Адаптивность (resilience) – способность системы справляться с неблагоприятными условиями и разрушающими факторами, сохраняя критически важные функции на приемлемом уровне. При этом система способна противостоять как прогнозируемым событиям, так и неожиданным, непредсказуемым внешним изменениям. Адаптивность достигается за счет резервов, заложенных при создании системы, способности к самовосстановлению, предусмотренной при проектировании.

Приведем примеры решений из энергетики, направленных на повышение адаптивности энергосистем:

- дополнение ВИЭ, зависящих от природных характеристик (температуры, ветра), мобильным эксплуатационным резервом (газотурбинными или парогазовыми ТЭС);
- внедрение маневренных электростанций в дополнение к крупным АЭС (адаптация структуры генерации к графику нагрузки);
- развитие малой энергетики, регулирующей баланс спроса и предложения. В данном случае такими активными элементами достигается надежность и обеспечивается растущий спрос.

Адаптивность предполагает наличие у системы таких свойств, как емкость, гибкость, толерантность и сплоченность [Madni, Jackson, 2009]. Емкость характеризует способность системы к выживанию в неблагоприятных условиях, гибкость – способность к адаптации при возникновении угроз, толерантность – способность избегать резкого снижения функциональности, а сплоченность – способность компонентов системы объединяться (действовать как единое целое) перед лицом угроз.

Гибкость (agility) – это способность системы успешно развиваться в постоянно изменяющейся среде, характеризующейся неопределенностью и непредсказуемостью. Гибкие (agile) системы обладают способностями как к реактивным, так и к проактивным действиям. Как правило, гибкость обеспечивается введением дополнительных активных элементов, обеспечивающих готовность отреагировать, что бы ни происходило. Например, в энергетике это дополнение ВИЭ эксплуатационным резервом в энергосистеме; здесь резерв увеличивает гибкость энергосистемы – способствует ее приспособлению к развитию ВИЭ.

Для того чтобы создавать гибкие системы и поддерживать их деятельность, необходимо понимать особенности внешней среды, характер возможных изменений и требуемую ответную реакцию. Исходя из этого, формируют и развивают архитектуру гибкой системы. Для анализа факторов внешней среды используют методику CURVE, предполагающую структурирование пространства проблем на основе ключевых характеристик: непредсказуемость (Capriciousness), неопределенность (Uncertainty), риски (Risk), вариабельность (Variability), эволюция (Evolution).

На основе анализа пространства проблем формируют требования к реагированию на изменения, с которыми гибкая система может столкнуться в процессе своей деятельности. Для этого используют специальный инструмент – анализ реакции (response situation analysis, RSA). Разработанные в результате анализа требования к реагированию определяют архитектуру гибкой системы в процессе проектирования или служат основанием для внесения изменений в ее архитектуру в период эксплуатации.

Сегодня системные решения востребованы в самых разных областях: при формировании киберфизических, сервисных, мультикомпонентных систем. При этом интерес к системной инженерии возрастает не только в крупномасштабных проектах, но и в широком диапазоне проектирования систем разной сложности и размера, а также при разработке социотехнических систем; кроме того, системная инженерия все чаще становится обязательным условием

проведения цифровых преобразований бизнеса [Bone et al., 2019; Verhoef et al., 2021]⁵. Свойственный ей трансдисциплинарный подход, предполагающий, что исследование отдельных предметных областей одной научной дисциплины проводится при помощи универсальных методов и категорий более общих наук, в результате чего появляются предпосылки для формирования новых идей и решений сложных проблем, позволяет снизить количество ошибок, повысить гибкость, укрепить доверие пользователей. В целом трансдисциплинарный подход – способ расширения мировоззрения (научного познания), позволяющий выйти на новый уровень обобщения и масштаб осмысления, в результате чего создаются новые смыслы и видение актуальных проблем [Профессионалы в конкуренции..., 2021].

3. Инженерное видение сложности

При создании и развитии систем усилия инженеров сконцентрированы на преодолении объективной сложности, которая возрастает по мере развития технологий и расширения области применения системной инженерии.

На ранних этапах развития системной инженерии основные трудности были связаны с обеспечением согласованной работы разнородных технических элементов системы и координацией их разработчиков. Для их преодоления созданы соответствующие методы инженерного проектирования. Они позволяют создавать сложные технические системы и поддерживать их работу на протяжении всего жизненного цикла. Примерами таких систем могут служить буровые платформы, атомные электростанции, самолеты, космические станции. Даже системы, в которых сложность обусловлена неупорядоченным взаимодействием множества похожих элементов (компьютерные сети, электрические сети и т. п.), также вполне поддаются моделированию и регулированию с использованием статистических методов [Sheard et al., 2015].

Переход к работе с системами более высокого уровня сложности в значительной мере сместил фокус усилий инженеров на организованную сложность [Weaver, 1948]. Ее можно обнаружить в системе со многими взаимосвязанными и разнородными элементами, которые обладают определенными эмерджентными свойствами и явлениями, часто проявляющимися в экономических, политических или социальных системах. Такую систему невозможно хорошо описать традиционными методами анализа и нельзя полностью устранить, используя стандартные решения и методы воздействия. Поэтому свойства и функционал такой системы необходимо предусмотреть уже на начальной проектной стадии (в архитектурных решениях), а затем, наблюдая за поведением системы на протяжении всего жизненного цикла, внести необходимые корректировки в ее структуру и отслеживать их влияние на поведение.

Потребности практики инициировали широкий спектр прикладных исследований в области идентификации и оценки сложности систем. Результаты этих исследований помогают выбрать правильный подход к анализу,

проектированию и развитию инженерных систем. Сложность систем изменяется в широком диапазоне от порядка до полного беспорядка; при этом «реальная сложность проектируемых систем находится где-то посередине: в них больше гибкости и изменений, чем при полном порядке, и больше стабильности, чем при полном беспорядке» [Sheard, Mostashari, 2009].

Особое внимание в инженерном взгляде на сложность уделяется учету человеческого фактора. С расширением масштабов систем, развитием социотехнических систем значение исследований по интеграции человека в систему многократно возрастает. Разрабатывая модели систем, требующих согласованного взаимодействия людей и техники (например, системы управления полетами), принимают во внимание поведение людей как элементов системы, которое способствует усложнению системы в целом [Axelrod, Cohen, 1999]. Рациональное или иррациональное поведение людей в конкретных ситуациях является жизненно важным фактором в отношении сложности [Kline, 1995]. Частично эту сложность можно уменьшить за счет образования, обучения и знакомства с системой. Однако некоторые факторы неустраняемы, и ими следует управлять как частью проблемы или решения. При проектировании социотехнических систем этот вид сложности требует отдельного рассмотрения на протяжении всего жизненного цикла [Checkland, 1999].

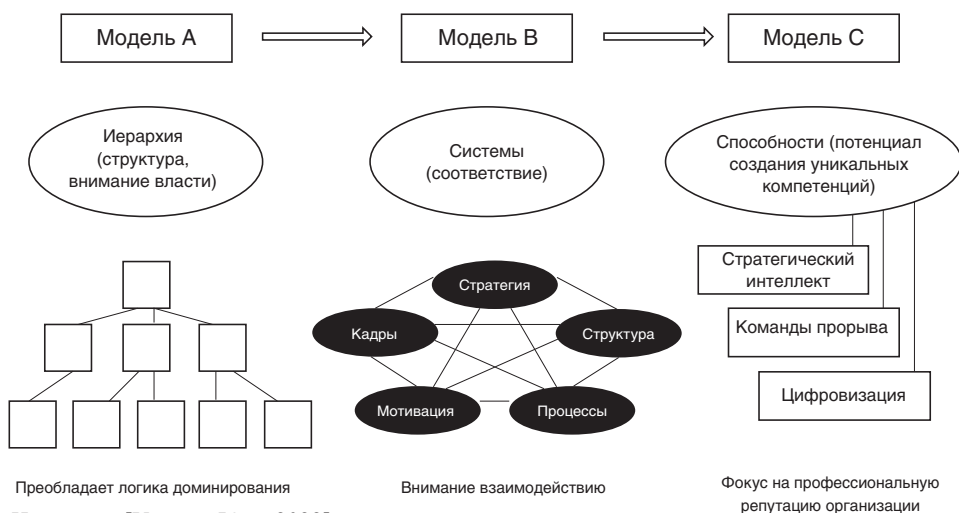
Итак, в фокусе инженеров преимущественно находятся жесткие системы (производственные комплексы, оборудование, машины, агрегаты и связывающие их информационно-коммуникационные сети). Главная задача инженеров – добиться оптимального уровня сложности таких систем для достижения ими своего функционала, обеспечения надежности эксплуатации заказчиками, относительной простоты технического обслуживания, работоспособности на протяжении жизненного цикла.

4. Взгляд менеджера: оперирование специфическими моделями

В отличие от инженеров менеджеры имеют дело как с жесткими, так и с мягкими системами [Checkland, 1999]. Это определяется тем, что менеджеры работают с более широким диапазоном систем, должны учитывать интересы различных стейкхолдеров, уделять внимание мотивации и обучению персонала, развитию коммуникаций, сотрудничества. При этом в приоритете у менеджеров – результативность бизнеса, а следовательно, свой набор критериев оценки систем и процессов, происходящих в них (рис. 3).

В этой связи главная задача менеджеров – добиться снижения субъективной сложности окружающих их систем, поскольку это напрямую связано с повышением предсказуемости их поведения, а значит, и с управляемостью. Это, в свою очередь, позволяет более точно принимать решения относительно развития систем, планировать требуемые ресурсы, формировать бизнес-проекты и создавать команды для их воплощения.

⁵ См. также: Program managers guide to digital and agile systems engineering process transformation (2022). https://sercproddata.s3.us-east-2.amazonaws.com/technical_reports/reports/1666113204.SERC_A013_WRT-1051_Final%20Technical%20Report_V3.pdf.

Рис. 3. Варианты моделей организации и акцентов в ее описании
Fig. 3. Types of organisational models and emphasis in their description

Источник: [Ульрих, Юнг, 2022].

Проблема заключается в том, что многочисленные цели и результаты работы систем, за которые отвечают менеджеры, зачастую противоречат друг другу, весьма неопределенны и динамичны. Структура систем и интересы их субъектов как системообразующий фактор – одни из основных факторов, требующих внимания при управленческом моделировании.

Способность формировать модели является одним из обязательных проявлений системной грамотности на практике [Dubberly, 2014]. При этом могут применяться разные формы графической визуализации моделей, например петли обратной связи, диаграммы потока (ценности), деревья целей и действий, карты процессов.

Модель – это упрощенное представление системы в определенный момент времени или пространства, предназначенное для содействия пониманию реальной системы. Как абстракция системы, она дает представление об одном или нескольких ее аспектах: функциях, структуре, свойствах, производительности, поведении, стоимости. Использование моделирования и симуляции на ранних этапах проектирования сложных систем позволяет задокументировать функции и требования к системе, оценить затраты на ее создание, выработать необходимые компромиссы, организовать непрерывный мониторинг работоспособности системы для повышения ее производительности, снижения рисков и управления затратами.

Моделирование и анализ могут дополнять тестирование и оценку, которые происходят на более поздних этапах жизненного цикла. Продвинутое моделирование, например авиационные специальные тренажеры и моделирование центров управления и контроля, может быть экономически эффективным методом обучения персонала в сочетании с обучением эксплуатационным системам. Моделирование помогает сделать концепции конкретными и формальными, повысить качество, производительность, документацию и инновации, а также снизить стоимость и риск разработки систем.

Моделирование происходит на многих уровнях: компонент, подсистема, система и системы систем – и на протяжении всего жизненного цикла системы. Для представле-

ния систем могут потребоваться различные типы моделей для поддержки анализа, спецификации, проектирования и проверки работоспособности систем.

Моделирование позволяет решать задачи развития: выработать целостный взгляд на деятельность (рис. 4), представить ее в виде структуры связанных между собой объектов и процессов, выявить особенности взаимодействия с партнерами и заказчиками. Поэтому для генерального директора, топ-менеджеров, руководителей проектов, инновационных менеджеров владение способами моделирования – одна из основных профессиональных компетенций.

Рис. 4. Интегрированный взгляд на компанию
Fig. 4. Integrated view of the company

Одна из важнейших задач для менеджеров, решаемых с помощью моделей, – концептуальное представление бизнеса (рис. 5). Именно многоаспектное модельное представление, давая более полное описание интересующего объекта с учетом цели решения конкретной задачи, позволяет:

- работать с каждой моделью и выделенными в ней элементами (подсистемами) на свойственном им понятийном языке;
- рассмотреть в моделях разные аспекты с точки зрения взаимообусловленных требований и пропорциональности развития выделенных уровней, страт, подсистем;
- организовать стадийность процесса изменений [Гительман, 2011].

Преобразование реальных производственных и управленческих систем (рис. 6) является междисциплинарной задачей, при решении которой используются законы, закономерности, категории и понятия различных наук (инженерных, экономики, психологии, права, теории организации,

менеджмента и др.). Каждая из наук имеет свою теоретическую базу и понятийный аппарат. В итоге формируются самые разнообразные концептуальные модели и требования, которые на практике бывает очень сложно совместить.

Рис. 5. Комплекс моделей компании
Fig. 5. Complex of business models



Рис. 6. Системный подход к преобразованиям
Fig. 6. Systematic approach to transformation



5. Критически важная тема системной грамотности – междисциплинарность

Под междисциплинарностью авторы понимают синтез знаний из разных областей науки и практики и выявление новых взаимосвязей между ними, позволяющие получить качественно новые решения сложных проблем. Понимание междисциплинарности особо необходимо руководителям в тех отраслях, которые представляют собой сложнейшие инженерно-технические комплексы, такие как электроэнергети-

ка, телекоммуникационный сектор, атомная и нефтегазовая промышленность, транспорт, военно-космический сектор. В данных отраслях именно технологии в широком смысле: от целевых научных исследований и инжиниринговых разработок до внедрения инноваций, требующих определенных инвестиций и соответствующих финансовых результатов, – являются объектом концентрации связей разной природы [Гительман и др., 2022]. Поэтому знание инженерных основ производства и научно-технических трендов, их влияния на экономику производства – непереносимое условие возможности руководителя успешно выполнять свои функции.

Данный тезис хорошо поясняется на примере сверхактуальной для современного общества проблемы энергетического перехода (далее – ЭП) – преобразование энергетики, смежных инфраструктур и электропотребляющих систем в углеродно нейтральную модель, реализуемую на основе структурно-технологических изменений, имеющих экологические, экономические и технологические результаты [Балашов, 2023]⁶. Осуществление ЭП является сложнейшей, многоаспектной, неоднозначной задачей, в которой тесно переплетаются самые разные интересы деятельности – политической, экономической, экологической, научно-технической, инженерной, социальной. Очевидно, что это комплексная системная задача с временным горизонтом не менее 20–30 лет, достаточным для реалистичного видения и учета прорывных технологий в сферах производства, передачи, распределения и, что очень важно, конечного энергоиспользования всех видов энергоресурсов [Гительман и др., 2023b]. Поэтому проблема включает возможность поэтапной актуализации принимаемых решений на развилках развития со своевременным учетом рисков и оценкой инвестиций.

Междисциплинарные решения, принимаемые при разработке проектов ЭП, требуют системного подхода, учета всех нелинейных зависимостей внутри сложных систем, рассмотрения с позиций их полного жизненного цикла. Например, конкретика использования системного подхода к разработке концепции ЭП заключается в следующем:

- 1) рассмотрение энергетического производства в единстве и взаимосвязи с потреблением электроэнергии посредством процессов электрификации и энергосбережения;
- 2) учет региональных условий и факторов при формировании целевой структуры энергетической системы;
- 3) разработка структуры и режима работы энергосистемы на основе многокритериального подхода, учитывающего экономические, экологические, технические критерии и ограничения;
- 4) широкая диверсификация применяемых способов и организационных форм производства и потребления электроэнергии, взаимодополняющих друг друга с учетом их преимущественных и проблемных особенностей;
- 5) анализ всех последствий использования возобновляемых источников энергии, включая стадии производства установок, их эксплуатации и утилизации.

⁶ См также: Global energy transformation. A roadmap to 2050 (2018). The International Renewable Energy Agency (IRENA). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf; Theme report on energy transition. Towards the achievement of SDG 7 and net-zero emissions (2021). United Nations. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021-tw2_2-062321.pdf.

Таблица 1
Структура инженерно-экономических компетенций менеджеров
Table 1
Structure of technical and economic competences of managers

Кластеры компетенций	Примеры конкретных компетенций
Инженерно-экономические	Экономическая оценка инженерных решений Комплексная аналитика Оценка инвестиций в инженерии инноваций Определение затрат и прогнозирование результатов крупных проектов Оценка рисков и эффективности использования ресурсов.
Инженерно-управленческие	Создание систем раннего обнаружения угроз и возможностей Конструирование будущего компании Разработка стратегий лидерства Организация процессов технологической модернизации Управление портфелями проектов Организация опережающего обучения

Наиболее подходящей методологией для принятия соответствующих интегрированных решений и их последующего воплощения является системная инженерия, а на инструментальном уровне они обеспечиваются конкретными компетенциями – инженерно-экономическими и инженерно-управленческими (табл. 1). Под инженерно-экономическими компетенциями понимаются способности использовать экономические знания при оценке эффективности создания новых технико-технологических систем и их эксплуатации. Инженерно-управленческие компетенции – способности организовывать активный инновационный процесс, необходимые организационные изменения и соответствующую корпоративную культуру, управлять жизненным циклом технологических систем, совершенствовать внутренние и внешние коммуникации, работу с персоналом, определять приоритеты распределения ресурсов с учетом интересов стейкхолдеров. Далее в статье для удобства обозначения приведенных групп компетенций употребляется понятие «инженерно-экономические компетенции».

Необходимо заметить, что междисциплинарные компетенции не появляются благодаря даже хорошему владению дисциплинарными знаниями всех учебных курсов, для их освоения необходимы важные дополнения:

- 1) учебные дисциплины, раскрывающие взаимосвязи между разными областями знаний и предлагающие инструментарий для их интеграции и практического использования в проектных задачах;
- 2) исследовательский опыт стыковых вопросов и проблем, показывающих сущность и важность междисциплинарных связей и отношений;
- 3) практика применения междисциплинарных знаний решения реальных задач бизнеса, благодаря которой они трансформируются в управленческие компетенции.

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

Таблица 2
Реализация междисциплинарного подхода при обучении менеджеров
Table 2
Implementation of a multidisciplinary approach to the training of managers

Цели профессиональной подготовки	Направления и методы освоения междисциплинарности
Студенты управленческих специальностей – Овладение базовыми знаниями, – Умение их применять в нестандартных ситуациях	Области новых научно-технических достижений, отраслевых технологий и представление об изменениях содержания управленческой деятельности Организация НИР с использованием знаний из разных областей Развитие системного, концептуального, стратегического и стоимостного мышления Концептуальное проектирование Деловые игры, командная работа
Менеджеры нижнего звена – Понимание управленческих задач и основных систем управления – Умение решать нетиповые задачи для своего уровня – Умение работать с людьми и малыми группами – Овладение основами стоимостного мышления	Демонстрация разноаспектности и комплексности управленческих знаний (для выпускников инженерных специальностей) Обучение передовому опыту с разбором конкретных ситуаций Деловые игры, стратегические сессии, командная работа в решении инженерно-управленческих задач
Менеджеры среднего звена – Умение решать нетиповые задачи для своего уровня, анализировать проблемные ситуации, формулировать и решать проблемы – Развитие системного мышления	Интеграция управленческих знаний в целостную систему Обучение передовому опыту с разбором конкретных ситуаций Концептуальное проектирование задач развития своей сферы деятельности Деловые игры, стратегические сессии, командная работа над решением инновационных задач
Топ-менеджеры – Умение интегрировать экономические, производственные, экологические, политические и культурные цели и решать сложные комплексные проблемы – Определять и развивать точки роста, создавать команды прорыва; организовывать масштабные преобразования	Формирование видения будущего Методы генерации бизнес-идей Поведение в экстремальных ситуациях Развитие способностей изменять видение, стратегию и приоритеты задач Концептуальное проектирование будущего Деловые игры, стратегические сессии, командная работа в решении задач разработки и реализации стратегии

– формирование комплексного видения будущего, развитие компетенций масштабных преобразований, управление человеческим капиталом, трансформация стратегических приоритетов (табл. 2). Из таблицы видно, что с каждым уровнем ответственности возрастает диапазон междисциплинарности.

Сложные проблемы невозможно решить, разделив на задачи и назначив ответственными за них обладающих необходимым набором профессиональных компетенций. Нелинейные взаимодействия, изменчивость системы и внешней среды, конфликт интересов стейкхолдеров приводят к тому, что не всегда возможно даже определить, что будет считаться успешным решением. Для того чтобы справляться с непредсказуемыми ситуациями, необходимо держать в фокусе проблему в целом, оценивать решение в целом в перспективе полного жизненного цикла системы. Это требует глубоких знаний в разных областях. Кроме того, наука часто не имеет ответов на возникающие вызовы, а потому требуются знания, полученные из практики, и умение обобщать накопленный опыт системных решений. Междисциплинарные команды способны справляться с этими трудностями при условии эффективных коммуникаций и отлаженного взаимодействия членов команды.

Немаловажно подчеркнуть, что все более востребованными становятся менеджеры и инженеры, экономисты, ИТ-специалисты и представители других профессий, способные работать в единой команде, а следовательно, имеющие общий понятийный язык, целостное видение объекта совершенствования, владеющие инструментами и средствами системного анализа (рис. 7). В этом отношении все члены команды должны владеть инженерно-экономическими компетенциями, но в разном объеме знаний в части техники, экономики, финансов, инвестиций и т. д.

Для успешных действий членам междисциплинарной команды необходимы знания, выходящие за пределы профессиональной деятельности. Для продуктивного взаимо-

действия необходимо приобрести знания хотя бы базового уровня в смежных областях, научиться понимать собеседников, имеющих различные мировоззрения, обладать интеллектуальной гибкостью, креативностью, способностями к диалогу и сотрудничеству.

Приведем пример из электроэнергетики. В целом можно отметить, что тенденции изменений в содержании инженерно-экономических компетенций специалистов этой отрасли связаны с рядом факторов:

- 1) развитием энергетических рынков и усилением конкуренции;
- 2) электрификацией и вытеснением углеводородного топлива (энергопереходом);
- 3) внедрением интеллектуальных энергосистем;
- 4) диверсификацией бизнеса и развитием экономических взаимоотношений поставщиков и потребителей энергии.

Речь идет об усилении и новых формах технико-экономических связей в контуре «поставщик – потребитель», в том числе по параметрам качества и надежности энергоснабжения (обмен информацией, взаимная финансовая ответственность за надежность и качество, новые экономические методы управления надежностью и эффективностью производства, в частности различные механизмы управления спросом). Акцент в экономической деятельности, причем не только в электроэнергетике, но и во многих других отраслях экономики, смещается с производственно-хозяйственного контура в контур сервисный, где все большее значение приобретают полицентрические платформенные взаимодействия между субъектами рынков [Трачук, Линдер, 2023]. Все это приведет к тому, что формирование затрат и результатов станет более многоаспектным, а учет междисциплинарности – обязательной составляющей системной грамотности.

Так, при весьма перспективной деятельности по управлению спросом на энергию содержание инженерно-экономических компетенций будет определяться необходимостью следующих решений (табл. 3).

Рис. 7. Междисциплинарные решения объединяют менеджеров, инженеров и экономистов
Fig. 7. Interdisciplinary solutions bring together managers, engineers and economists

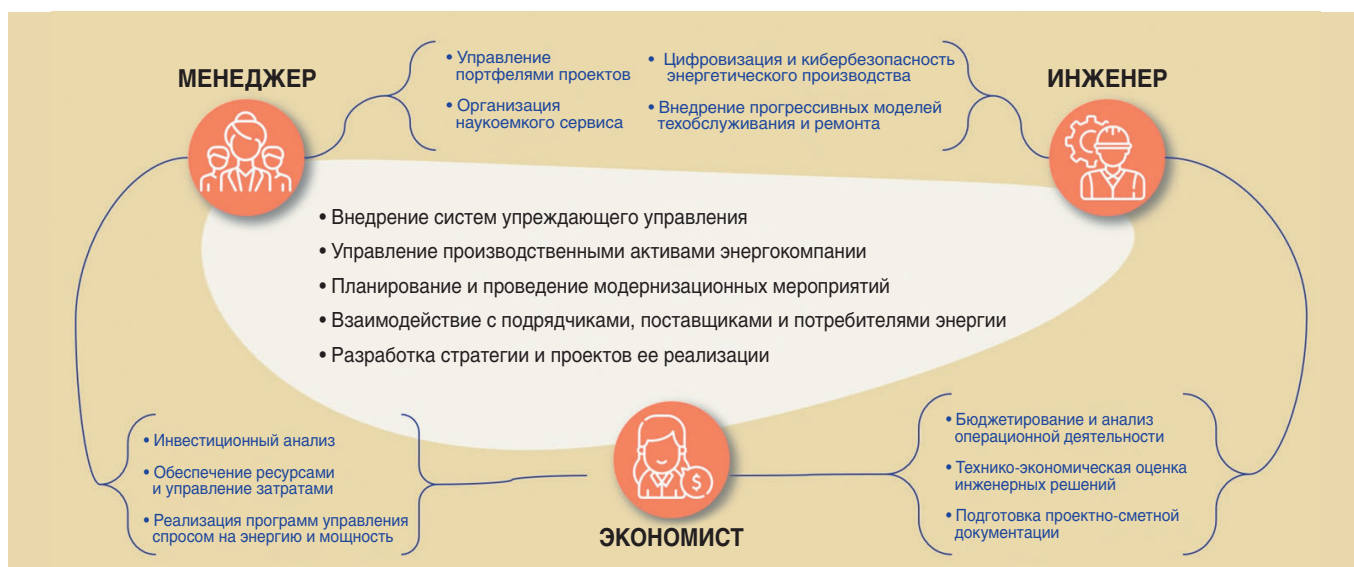


Таблица 3
Содержание инженерно-экономических компетенций при реализации программ управления спросом
Table 3
Technical and business skills in implementing demand-side management programmes

Тип решений	Примеры решений	
	В энергокомпании	У потребителя
Инженерные	Оценка возможности роста, маневренности и мощности генерирующего оборудования Изменение режима работы электростанции в энергосистеме и структуры генерирующих мощностей (например, отказ от ввода дорогих пиковых мощностей или увеличение КИУМ базовых электростанций) Сокращение объемов резервирования сетевых мощностей Внедрение средств телеуправления нагрузкой и информационных технологий в контуре «поставщик – потребитель»	Перевод агрегатов в режим «потребителя-регулятора» Форсирование производительности агрегата в часы спада нагрузки Изменение графиков ремонта оборудования Организация ночных смен работы
Экономические	Планирование и оценка по факту экономии энергии и мощности по итогам реализации программ управления спросом Экономия текущих издержек и капиталовложений в новые мощности, прежде всего пиковые Бюджет и эффективность программы Механизм экономической мотивации потребителей	Анализ затрат на изменения режимов электропотребления Результаты и эффективность с учетом предпочтений, предоставляемых энергокомпанией, связанных с уменьшением платежей за электроэнергию и мощность
Управленческие	Разработка дизайна программ управления спросом Согласование графика реализации программ с органами власти, энергосервисными компаниями, поставщиками оборудования Разработка стимулирующих мер для участников программ	Институционализация участия в программах управления спросом (подготовка внутренней нормативной базы, регламентов, ответственных, корректировка бизнес-процессов и пр.)

В ряде работ [Гительман и др., 2023а; Гительман, Кожевников, 2023] нами детально сформулированы необходимые условия для «перезагрузки» инженерно-экономического образования. Среди них: возрождение инженерно-экономических факультетов; обязательное освоение методологий и опыта системной инженерии как ядра фундаментальной подготовки; переход к специалитету; резкое увеличение объема практики в учебных планах соответствующих программ. Однако не менее важное условие заключается в радикальном пересмотре форм, принципов организации и методов учебного процесса [Богомолов, 2022; Ермолов, 2022]. В этой связи весьма актуальным становится опережающее обучение – технологично организованный процесс формирования знаний и компетенций для решения будущих задач, соответствующих глобальным трендам и национальным программам развития. Отметим, что опережающее обучение осуществляется с использованием новейших средств, в том числе цифровых, позволяющих реализовывать гибко настраиваемые программы, повышающие привлекательность профессиональной деятельности для молодежи и вовлекающие студентов в решение актуальных задач.

Опыт кафедры систем управления энергетикой и промышленными предприятиями Уральского федерального университета по внедрению опережающего инженерно-экономического образования демонстрирует высокую эффективность его технологичной организации [Профессионалы в конкуренции..., 2021]. Среди активно развиваемых сегодня технологий, используемых непосредственно для освоения системного подхода и системной грамотности, можно выделить:

- цифровую базу инженерно-экономических знаний, активизирующую самообучение и позволяющую осуществлять целенаправленный поиск книг, ста-

тей, аналитических отчетов преподавателей кафедры для выполнения проектно-исследовательской работы (рис. 8);

- виртуальные туры на передовые промышленные предприятия для изучения технических аспектов сложных систем на основе их цифровых двойников;
- концептуальное проектирование инновационных преобразований с помощью эталонной модели организации и сквозной проектно-исследовательской работы совместно с преподавателями и внешними экспертами.

Заключение

Современные инженерные разработки представляют собой сложные системы и системы систем, которые основаны на взаимодействии компонентов разной природы и непрерывно совершенствуются в процессе проектирования и эксплуатации. При разработке таких систем все большее значение приобретает взаимодействие технико-технологических факторов производства и человека, его знаний, умений, ценностей, причем инженерные и гуманитарные аспекты не должны противоречить друг другу. Целостное видение систем, умение прогнозировать их поведение в условиях неопределенности, организовывать процессы их разработки и эксплуатации с результатами, соответствующими интересам разных стейкхолдеров, – словом, системная грамотность становится важнейшим атрибутом менеджеров, инженеров и команд, участвующих в инновационной деятельности.

В процессах комплексной модернизации, импортозамещения востребованы не только разработки прорывных инновационных технологий, но и в особенности – их быстрое масштабирование (организация серийного производства в условиях ограниченных ресурсов). Причем задачи вывода

Рис. 8. Визуализация технологии «Цифровая база знаний»
Fig. 8. Visualisation of the Digital Knowledge Database technology

ТЕХНОЛОГИЯ «ЦИФРОВАЯ БАЗА ЗНАНИЙ»

АКТИВИЗИРУЕТ САМООБУЧЕНИЕ ЗА СЧЕТ БЫСТРОГО ПОДБОРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ТЕОРИИ И РЕШЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧ

на рынок новейших продуктов и технологических решений, активизации инновационного процесса находятся в функции менеджеров, которые осуществляют руководство коллективами и работают в командах с инженерами, экономистами, ИТ-специалистами. Таким образом, в новых реалиях системная грамотность ориентирована на учет междисциплинарных взаимосвязей и понимание влияния технологий на экономические, финансовые, инвестиционные, экологические, социальные результаты деятельности предприятий. В этой связи резко актуализируется значимость инженерно-экономических компетенций – способностей оценки экономической эффективности и рыночной перспективности создаваемых инженерно-технических комплексов, а вопросы ускоренной подготовки кадров с такими компетенциями в условиях необходимости достижения технологического суверенитета выходят на первый план.

При этом системная грамотность становится неотъемлемой частью базовой инженерно-экономической подготовки. Она позволяет видеть системы в окружающем мире

(воспринимать и оценивать происходящие события через призму системного мышления), улавливать и идентифицировать закономерности в динамике поведения систем, использовать полученные знания и наблюдения для разрешения возникающих проблем и появляющихся возможностей, учиться на опыте, корректируя знания и действия в соответствии с изменениями контекста и рыночного окружения системы.

Опыт понимания и развития системности, формирования системного мировоззрения и практического применения системного подхода накоплен системной инженерией. В значительной степени проверенные на практике методологии преодоления сложности, обеспечения адаптивности и гибкости проектируемых систем могут быть использованы в менеджменте с поправкой на природу и характер решаемых проблем. В этой связи необходимыми условиями для «перегрузки» инженерно-экономического образования является обязательное освоение методологий и опыта системной инженерии как ядра фундаментальной подготовки.

Литература

Балашов М.М. (2023). Анализ ключевых направлений и предложения по минимизации экономических последствий глобального энергоперехода для крупных энергоёмких промышленных потребителей электрической энергии и мощности. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 14(2): 164–179. DOI: 10.17747/2618-947X-2023-2-164-179.

Богомолов А.В. (2022). Некоторые аспекты обеспечения инновационного развития национальной экономики на основе совершенствования системы подготовки инженерных кадров. *Инновации*, 2: 13–17.

Гительман Л.Д. (2011). *Менеджмент – твоя работа. Создай ноу-хау и действуй!* М., Инфра-М.

- Гительман Л.Д., Исаев А.П., Кожевников М.В., Гаврилова Т.Б. (2022). Междисциплинарные компетенции менеджеров для технологического прорыва. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 13(3): 182–198. DOI: 10.17747/2618-947X-2022-3-182-198.
- Гительман Л.Д., Исаев А.П., Кожевников М.В., Гаврилова Т.Б. (2023а). Инновационные менеджеры для технологического суверенитета страны. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 14(2): 118–135. DOI: 10.17747/2618-947X-2023-2-118-135.
- Гительман Л.Д., Кожевников М.В. (2023). О неотложных изменениях в подготовке менеджеров и инженеров для новой энергетики. *Энергетик*, 10: 3–11.
- Гительман Л.Д., Кожевников М.В., Ратников Б.Е. (2023b). *Энергетический переход: руководство для реалистов*. М., Солон-Пресс.
- Ермолов И.Л. (2022). О направлениях работы по совершенствованию подготовки инженерных кадров в России. *Инновации*, 2: 8–12.
- Профессионалы в конкуренции за будущее. Опережающее обучение для лидерства в цифровой индустрии* (2021). Под ред. Л.Д. Гительмана, А.П. Исаева. М., Солон-Пресс.
- Трачук А.В., Линдер Н.В. (2023). Эффекты цифровых платформ для промышленных компаний: эмпирический анализ в условиях внешнего санкционного давления. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 14(2): 150–163. DOI: 10.17747/2618-947X-2023-2-150-163.
- Ульрих Д., Юнг А. (2022). *Новая модель организации. Как построить более сильную и гибкую организацию*. М., Бомбора.
- Axelrod R., Cohen M. (1999). *Harnessing complexity: Organizational implications of a scientific frontier*. New York, Simon and Schuster.
- Bone M.A., Blackburn M.R., Rhodes D.H., Cohen D.N., Guerrero J.A. (2019). Transforming systems engineering through digital engineering. *Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 16(4): 339–355. DOI: 10.1177/1548512917751873.
- Checkland P. (1978). The origins and nature of “hard” systems thinking. *Journal of Applied Systems Analysis*, 5(2): 99–110.
- Checkland P. (1999). *Systems thinking, systems practice*. New York, John Wiley & Sons.
- Dubberly H. (2014). A systems literacy manifesto. Proceedings of RSD3, *Third Symposium of Relating Systems Thinking to Design*, 2014. <http://openresearch.ocadu.ca/id/eprint/2058/>.
- Hitchins D. (2009). What are the general principles applicable to systems? *INCOSE Insight*, 12(4): 59–63. DOI: 10.1002/inst.200912459.
- Hybertson D. (2009). *Model-oriented systems engineering science: A unifying framework for traditional and complex systems*. Series in complex and enterprise systems engineering. Boston, Auerbach Publications.
- Jackson W.S. (2016). *Evaluation of resilience principles for engineered systems*. Unpublished PhD, University of South Australia, Adelaide, Australia.
- Kline S. (1995). *Foundations of multidisciplinary thinking*. Stanford, Stanford University Press.
- Koestler A. (1967). *The ghost in the machine*. New York, Macmillan Stems.
- Madni A., Jackson S. (2009). Towards a conceptual framework for resilience engineering. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Systems Journal*, 3(2): 181–191.
- Martin J. (2004). The seven samurai of systems engineering: Dealing with the complexity of 7 interrelated systems. In: *Proceedings of the 14th Annual INCOSE International Symposium*, 2004. <https://incose.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2334-5837.2004.tb00509.x>.
- Rousseau D., Pennotti M., Brook P. (2022). *Systems engineering's evolving guidelines*. <https://drive.google.com/file/d/1JibL44sUh0zt efZQ5Rfy4kGiodXIy63n/view>.
- Sheard S., Cook S., Honour E., Hybertson D., Krupa J., McEver J., McKinney D., Ondrus P., Ryan A., Scheurer R., Singer J., Sparber J., White B. (2015). *A complexity primer for systems engineers*. <https://www.incose.org/docs/default-source/ProductsPublications/a-complexity-primer-for-systems-engineers.pdf>.
- Sheard S.A., Mostashari A. (2009). Principles of complex systems for systems engineering. *Systems Engineering*, 12(4): 295–311.
- Sillitto H.G. (2010). Design principles for ultra-large-scale systems. In: *Proceedings of the 20th Annual INCOSE International Symposium*, 2010. [https://web.mst.edu/lib-circ/files/Special%20Collections/INCOSE2010/Design%20principles%20for%20Ultra-Large-Scale%20\(ULS\)%20Systems.pdf](https://web.mst.edu/lib-circ/files/Special%20Collections/INCOSE2010/Design%20principles%20for%20Ultra-Large-Scale%20(ULS)%20Systems.pdf).
- Sweeney L.B. (2018). *Food systems, climate systems, laundry systems: The time for systems literacy is now!* <https://thesystemsthinker.com/%EF%BB%BFfood-systems-climate-systems-laundry-systems-the-time-for-systems-literacy-is-now/>.
- Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J.Q., Fabian N., Haenlein M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122: 889–901. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.09.022.
- Weaver W. (1948). Science and complexity. *American Science*, 36: 536–544.

References

- Balashov M.M. (2023). Analysis of key directions and proposals to minimise the economic impact of the global energy transition on large energy-intensive industrial consumers of electricity and capacity. *Strategic Decisions and Risk Management*, 14(2): 164-179. DOI: 10.17747/2618-947X-2023-2-164-179. (In Russ.)
- Bogomolov A.V. (2022). Some aspects of ensuring innovative development of the national economy based on improving the system of training engineering personnel. *Innovation*, 2: 13-17. (In Russ.)
- Gitelman L.D. (2011). *Management is your job. Create know-how and act!* Moscow, Infra-M. (In Russ.)
- Gitelman L.D., Isayev A.P., Kozhevnikov M.V., Gavrilova T.B. (2022). Interdisciplinary competencies of managers for a technological breakthrough. *Strategic Decisions and Risk Management*, 13(3): 182-198. DOI: 10.17747/2618-947X-2022-3-182-198. (In Russ.)
- Gitelman L.D., Isayev A.P., Kozhevnikov M.V., Gavrilova T.B. (2023a). Innovation managers for the country's technological sovereignty. *Strategic Decisions and Risk Management*, 14(2): 118-135. DOI: 10.17747/2618-947X-2023-2-118-135. (In Russ.)
- Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V. (2023). On urgent changes in training of managers and engineers for the new energy industry. *Energy Specialist*, 10: 3-11. (In Russ.)
- Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V., Ratnikov B.E. (2023b). *The Energy transition: A guide for realists*. Moscow, Solon-Press. (In Russ.)
- Ermolov I.L. (2022). On areas of work to improve the training of engineering personnel in Russia. *Innovation*, 2: 8-12. (In Russ.)
- Gitelman L.D., Isayev A.P. (eds.). *Professionals in competition for the future. Advanced training for leadership in the digital industry*. (2021). Moscow, Solon-Press. (In Russ.)
- Trachuk A.V., Linder N.V. (2023). The impact of digital platforms on industrial enterprises: An empirical analysis in the context of external sanction pressure. *Strategic Decisions and Risk Management*, 14(2): 150-163. DOI: 10.17747/2618-947X-2023-2-150-163. (In Russ.)
- Ulrich D., Jung A. (2022). *New organizational model. How to build a strong and flexible organization*. Moscow, Bombora. (In Russ.)
- Axelrod R., Cohen M. (1999). *Harnessing complexity: Organizational implications of a scientific frontier*. New York, Simon and Schuster.
- Bone M.A., Blackburn M.R., Rhodes D.H., Cohen D.N., Guerrero J.A. (2019). Transforming systems engineering through digital engineering. *Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 16(4): 339-355. DOI: 10.1177/1548512917751873.
- Checkland P. (1978). The origins and nature of "hard" systems thinking. *Journal of Applied Systems Analysis*, 5(2): 99-110.
- Checkland P. (1999). *Systems thinking, systems practice*. New York, John Wiley & Sons.
- Dubberly H. (2014). A systems literacy manifesto. *Proceedings of RSD3, Third Symposium of Relating Systems Thinking to Design*, 2014. <http://openresearch.ocadu.ca/id/eprint/2058/>.
- Hitchins D. (2009). What are the general principles applicable to systems? *INCOSE Insight*, 12(4): 59-63. DOI: 10.1002/inst.200912459.
- Hybertson D. (2009). *Model-oriented systems engineering science: A unifying framework for traditional and complex systems. Series in complex and enterprise systems engineering*. Boston, Auerbach Publications.
- Jackson W.S. (2016). *Evaluation of resilience principles for engineered systems*. Unpublished PhD, University of South Australia, Adelaide, Australia.
- Kline S. (1995). *Foundations of multidisciplinary thinking*. Stanford, Stanford University Press.
- Koestler A. (1967). *The ghost in the machine*. New York, Macmillan Stems.
- Madni A., Jackson S. (2009). Towards a conceptual framework for resilience engineering. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Systems Journal*, 3(2): 181-191.
- Martin J. (2004). The seven samurai of systems engineering: Dealing with the complexity of 7 interrelated systems. In: *Proceedings of the 14th Annual INCOSE International Symposium*, 2004. <https://incose.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2334-5837.2004.tb00509.x>.
- Rousseau D., Pennotti M., Brook P. (2022). *Systems engineering's evolving guidelines*. <https://drive.google.com/file/d/1JibL44sUh0ztefZQ5Rfy4kGiodXIy63n/view>.
- Sheard S., Cook S., Honour E., Hybertson D., Krupa J., McEver J., McKinney D., Ondrus P., Ryan A., Scheurer R., Singer J., Sparber J., White B. (2015). *A complexity primer for systems engineers*. <https://www.incose.org/docs/default-source/ProductsPublications/a-complexity-primer-for-systems-engineers.pdf>.
- Sheard S.A., Mostashari A. (2009). Principles of complex systems for systems engineering. *Systems Engineering*, 12(4): 295-311.
- Sillitto H.G. (2010). Design principles for ultra-large-scale systems. In: *Proceedings of the 20th Annual INCOSE International Symposium*, 2010. [https://web.mst.edu/lib-circ/files/Special%20Collections/INCOSE2010/Design%20principles%20for%20Ultra-Large-Scale%20\(ULS\)%20SYstems.pdf](https://web.mst.edu/lib-circ/files/Special%20Collections/INCOSE2010/Design%20principles%20for%20Ultra-Large-Scale%20(ULS)%20SYstems.pdf).

Sweeney L.B. (2018). *Food systems, climate systems, laundry systems: The time for systems literacy is now!* <https://thesystemsthinker.com/%EF%BB%BFfood-systems-climate-systems-laundry-systems-the-time-for-systems-literacy-is-now/>.

Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J.Q., Fabian N., Haenlein M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122: 889-901. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.09.022.

Weaver W. (1948). Science and complexity. *American Science*, 36: 536-544.

Информация об авторах

Лазарь Давидович Гительман

Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры систем управления энергетикой и промышленными предприятиями, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия). WOS Research ID: AHB-8473-2022; Scopus ID: 55806230600.

Область научных интересов: энергетический бизнес в электро- и теплоэнергетике, упреждающее управление, организационные преобразования, управленческое образование.

ldgitelman@gmail.com

Татьяна Борисовна Гаврилова

Кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры систем управления энергетикой и промышленными предприятиями, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия). Scopus ID: 57190430748.

Область научных интересов: системная инженерия, бизнес-аналитика, информационные технологии в менеджменте.

ems_2005@mail.ru

Михаил Викторович Кожевников

Доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой систем управления энергетикой и промышленными предприятиями, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия). WOS Research ID: AAB-6693-2020; Scopus ID: 55805368400; ORCID: 0000-0003-4463-5625.

Область научных интересов: наукоемкий сервис, инновационное развитие промышленности, управленческое образование.

m.v.kozhevnikov@urfu.ru

About the authors

Lazar D. Gitelman

Doctor of economic sciences, professor, professor of the Department of Energy and Industrial Management Systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia). WOS Research ID: AHB-8473-2022; Scopus ID: 55806230600.

Research interests: proactive management, organizational transformations, sustainable energy, management education.

ldgitelman@gmail.com

Tatyana B. Gavrilova

Candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the Department of Energy and Industrial Management Systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia). Scopus ID: 57190430748.

Research interests: systems engineering, business analytics, information technology in management.

ems_2005@mail.ru

Mikhail V. Kozhevnikov

Doctor of economic sciences, associate professor, head of the Department of Energy and Industrial Management Systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia). WOS Research ID: AAB-6693-2020; Scopus ID: 55805368400; ORCID: 0000-0003-4463-5625.

Research interests: knowledge-intensive service, innovative industrial development, management education.

m.v.kozhevnikov@urfu.ru

作者信息

Lazar D. Gitelman

经济学博士，教授，能源和工业企业控制系统教研室主任，俄罗斯联邦首任总统叶利钦命名的乌拉尔联邦大学（俄罗斯叶卡捷琳堡）。
WOS Research ID：AHB-8473-2022；Scopus ID：55806230600。
研究领域：电力、热力行业能源业务，前馈控制，组织变革、管理教育。
ldgitelman@gmail.com

Tatyana B. Gavrilova

经济学副博士，能源和工业企业控制系统教研室副教授，俄罗斯联邦首任总统叶利钦命名的乌拉尔联邦大学（俄罗斯叶卡捷琳堡）。
Scopus ID：57190430748。
研究领域：系统工程，商业分析，管理中的信息技术。
ems_2005@mail.ru

Mikhail V. Kozhevnikov

经济学副博士，能源和工业企业控制系统教研室副教授，俄罗斯联邦首任总统叶利钦命名的乌拉尔联邦大学（俄罗斯叶卡捷琳堡）。
WOS Research ID：AAB-6693-2020；Scopus ID：55805368400；ORCID：0000-0003-4463-5625。
研究领域：知识密集型服务业，产业创新，管理培训。
m.v.kozhevnikov@urfu.ru

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; после рецензирования 21.04.2024 принята к публикации 25.04.2024. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 05.04.2024; revised on 21.04.2024 and accepted for publication on 25.04.2024. The authors read and approved the final version of the manuscript.

文章于 05.04.2024 提交给编辑。文章于 21.04.2024 已审稿，之后于 25.04.2024 接受发表。作者已经阅读并批准了手稿的最终版本。