

Системная парадигма и теория технологий

Клейнер Георгий Борисович

Центральный экономико-математический институт РАН;
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации; Государственный университет управления
Москва, Россия, e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Цитирование: Клейнер Г.Б. (2024). Системная парадигма и теория технологий. *Terra Economicus* 22(4), 6–18. DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-4-6-18

В статье излагаются результаты системного анализа производственной технологии как пространственно-временной развертки способа регулярного преобразования исходных ресурсов в конечную продукцию. Цель работы состоит в выявлении универсальных свойств технологии и механизмов ее реализации в различных сферах экономики и общества. Анализ основан на применении системной парадигмы, согласно которой социально-экономическая и технико-технологическая сферы рассматриваются как арена взаимодействия систем – относительно устойчивых в пространстве и во времени образований. Базовые элементы технологии определяются как системы средового, процессного, проектного и объектного типов. Их сочетание характеризует каждую конкретную технологию в сферах экономики (экономические технологии), бизнеса (бизнес-технологии), техники (инженерные технологии), социума (социальные технологии) и т.п. Показывается, что типовые технологические маршруты строятся на основе определенного способа соединения базовых элементов механизма реализации технологии – систем перечисленных типов. Такие маршруты обеспечивают низкозатратный переход от одного этапа технологии к другому, что служит предпосылкой устойчивости данной технологии. Эти маршруты могут быть представлены в виде связанных фрагментов контура «среда – процесс – проект – объект – среда», что позволяет рассматривать данный контур как схему типовой единицы технологического пространства. Результаты исследования технологий на базе системной парадигмы, полученные в работе, могут быть использованы в качестве методологической основы для сравнительного анализа и прогнозирования устойчивости и эффективности проектируемых и функционирующих технологий в различных сферах экономики и общества.

Ключевые слова: технология; механизм реализации технологии; теория технологий; система; системная парадигма; тетрада; технологический маршрут

The systems paradigm and the theory of technology

George B. Kleiner

Central Economics and Mathematics Institute RAS; Financial University; State University of Management
Moscow, Russia, e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Citation: Kleiner G.B. (2024). The systems paradigm and the theory of technology. *Terra Economicus* 22(4), 6–18 (in Russian). DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-4-6-18

This paper explores the fundamental principles of production technology through the lens of a systems analysis. It examines how production technology is applied in space and time, transforming raw materials into finished products. The goal of this study is to uncover the universal aspects of technology and the mechanisms for its implementation across various economic and social sectors. The analysis is based on the systems paradigm, which views the socio-economic and technical-technological realms as areas where systems interact. These systems are relatively stable entities that exist within a particular space and timeframe. The fundamental components of a technology are defined as environmental, process, project, and object systems. The combination of these elements characterizes each specific technology in various fields such as economics (economic technologies), business (business technologies), engineering (engineering technologies), society (social technologies), and others. It is shown that typical technological routes should be structured around a specific way of combining the key elements of the technology implementation. Being essential for technological sustainability, these routes ensure a cost-effective transition between the technological stages. These routes can be visualized as connected fragments of the “environment – process – project – subject – environment” contour. This contour can be seen as a diagram of a typical unit of technological space. The findings of this study can be used as a methodological basis for comparing and predicting the sustainability and efficiency of existing technologies in various economic and social sectors.

Keywords: technology; technology implementation; technology theory; system; systems paradigm; tetrad; technological route

JEL codes: A10; O14; O32

Введение

Технологии составляют основу функционирования экономики и общества. В зависимости от сферы применения выделяются экономические (Бахтизин, Макаров и др., 2023; Некипелов, 2021), производственные (Красников и др., 2020), социальные (Зотов и др., 2022), политические (Малкин, Сучков, 2017), образовательные (Бордовская и др., 2020) и другие виды технологий. В последнее время анализ уровня готовности и зрелости технологий стал неотъемлемым элементом планирования технологических проектов (Петров и др. 2016).

Каждая технология представляет воспроизводимый способ достижения заданного результата при использовании ресурсов заданного качества в заданных количествах. Совокупность технологий, используемых при производстве конечной продукции на основе добычи и переработки природных ресурсов, традиционно именуется в экономике технологическим укладом (Глазьев, 2022). Подобным образом технологические уклады могут определяться и в других сферах экономики и общества.

В ряде работ последних десятилетий отмечается зависимость между сменой технологических укладов и согласованными изменениями технологий в финансовой, социальной, информационной и других сферах (Глазьев, 2022; Перес, 2011; Дементьев, 2023; Schot and Geels, 2007 и др.). Это наводит на мысль о наличии общих существенных признаков технологий из различных общественных сфер и, возможно, о наличии сквозной зависимости между технологиями, затрагивающими важнейшие сферы общества, включая территориальный, предметный и хронологический разрезы.

Задача состоит в том, чтобы сформулировать более или менее универсальное понятие ресурса, универсальное понятие соединения ресурсов и на этой базе – понятие универсальной технологии, а также проанализировать возможность формирования понятия технологической единицы, в какой-то степени аналогичного понятию ресурсно-продуктовой единицы. Перспективная цель – приблизиться к единой структуризации технологического пространства экономики.

Положения данной статьи базируются на методологии и результатах многолетнего развития системной парадигмы и, в частности, системной экономической теории как одного из активно развивающихся направлений системной парадигмы применительно к сфере экономики (Корнаи, 1998; Клейнер, 2011; 2021 и др.). Учитывая результаты исследований на платформе системной парадигмы, новой теории экономических систем и пространственно-временного анализа, теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) (Альтшуллер, 2016; Голдовский, Вайнерман, 1990;

Петров, 2018) и современной системотехники в целом (Клачек и др., 2015), мы предлагаем рекомендации по построению потенциально устойчивых и эффективных технологий.

Социально-экономическое пространство России, как неоднократно отмечалось, является не только весьма обширным, но и довольно неоднородным. Повышение связности и непрерывности отечественного социально-экономического пространства-времени способствовало бы переходу России от сложившейся тенденции скачкообразного движения общества к эволюционному типу развития.

В данной работе на основе обобщающего системного анализа технологий, а также микроуровневого анализа одной из ключевых операций металлообрабатывающего производства (штамповка) как типового примера предлагаются и сопоставляются три способа описания технологического процесса: общеэкономический (с помощью известной концепции факторов производства); пространственно-временной (с помощью концепции «твердых» и «мягких» систем в зависимости от наличия жестких границ систем в пространстве и во времени); системный (с помощью концепции функционального назначения базовых компонентов тетрады как механизма реализации технологии). Тетрада как относительно устойчивый комплекс взаимодействия проектной, объектной, процессной и средовой систем (подсистем) может играть роль фундаментального социо-техничко-экономического механизма реализации технологий. Формулируются требования к технологическому маршруту, потенциально обеспечивающие минимизацию затрат на переход от одного этапа маршрута к другому.

Элементы общей концепции технологий, представленные в настоящей статье, создают основу для единого описания структуры технологического пространства страны. Такое описание необходимо, по нашему мнению, для разработки программы модернизации технологического пространства страны в целях обеспечения технологического суверенитета и технологического лидерства России (Гареев, 2023; Сухарев, 2023а; 2023b; Edler et al., 2023).

Базовые элементы механизма реализации технологии

Задача данного раздела – предложить высокоагрегированный универсальный способ описания технологий, пригодный для структурного моделирования технологий любого уровня и назначения, позволяющий через механизм реализации данной технологии оценивать перспективы ее устойчивости и эффективности. Начальным шагом является формирование базисного набора технологических элементов, соединение которых в том или ином порядке и пропорциях позволяет реализовать данную технологию.

Для дальнейшего изложения нам необходима типология технологических элементов. В экономической сфере такие группы образуют так называемые факторы производства (Chang and Yang, 2011; Xu et al., 2009¹). К числу этих факторов традиционно относятся труд, капитал, природные ресурсы и предпринимательские способности участников производства. Конкретная экономическая технология реализуется путем выбора определенных элементов из таких категорий, как труд, капитал, природные ресурсы, предпринимательские способности, и соединения их в устойчивую конфигурацию, обеспечивающую возобновляемое производство данного вида продукции. Эту задачу решает менеджмент, осуществляющий организацию данного производственного процесса, т.е. данной технологии.

Можно заметить, что такой подход, опирающийся на представление технологии (и реализующего ее механизма) в виде соединения конечного числа типовых базовых технологических элементов, применим и для описания технологии в других, неэкономических, сферах, таких как, скажем, инженерия или политика. Ниже мы иллюстрируем это положение, рассматривая кратко задачи инженера и политтехнолога. Задача инженера – разработать технологию производства продукта, иными словами, указать последовательность соединения средств труда, предметов труда и работников (включая организаторов), занятых в процессе изготовления данного продукта. Инженер, таким образом, является создателем технологии. Здесь используется объемный массив данных относительно свойств исходных материалов, оборудования и работников, способных реализовать данную технологию. В решении инженерных задач, как видим, также используются те же факторы, что и в процессе производства.

¹ См. также: Gentile, B. (2011). The new factors of production and the rise of data-driven applications. *Forbes*, October 31. <https://www.forbes.com/sites/ciocentral/2011/10/31/the-new-factors-of-production-and-the-rise-of-data-driven-applications/?sh=4a36c7dc17da> (accessed on November 26, 2024)

Наиболее распространенное направление деятельности политтехнологов в социальном пространстве включает комплекс мероприятий, ориентированных на победу данного кандидата (данной партии) на выборах. Для решения этой задачи разрабатываются и реализуются меры, главным образом, информационного характера, представляющие данного кандидата в выигрышном ключе и одновременно изображающие его соперников в невыгодном свете. Поскольку избирательная кампания реализуется главным образом в информационной сфере, для ее проведения используются информационные образы, распространяемые с помощью средств массовой информации, социальных сетей, рекламы и т.д. Базовыми факторами таких процессов так же являются труд участников выборной кампании, капитал, природные ресурсы (включая пространство и время), предпринимательские способности организаторов кампании. В итоге мы видим тот же набор факторов, что и в предыдущих случаях.

Описание факторов производства (создания) продукта в любой сфере человеческой деятельности может быть получено также, если опираться на известную классификацию (типологию) систем в зависимости от конфигурации их границ в пространстве и во времени (Клейнер, 2011). А именно: система рассматривается как более или менее устойчивое в пространстве и во времени формирование, характеризующееся внутренним единством и внешней целостностью. При этом в общем случае под пространством может пониматься как абсолютное физическое трехмерное пространство, так и более специфические виды пространств, такие как информационное пространство, пространство возможных решений, социальное пространство и т.п. В качестве времени могут фигурировать как общее хронологическое календарное время, так и определенные временные промежутки (длительность периода от начала работы предприятия или от начала планового цикла, а также от последней реорганизации и т.п.).

Приведенная выше формулировка понятия системы позволяет рассматривать в качестве систем широкий круг социально-экономических образований и процессов, включая предприятия, регионы, отрасли, страны, процессы и акты производства, распределения, обмена и потребления экономических благ, а также инфраструктурную среду, в том числе институциональную и информационную. Технологию мы также рассматриваем как систему, поскольку она обладает признаками устойчивости, внутреннего единства и целостности. Это обстоятельство позволяет использовать системный анализ для классификации и комбинирования технологий.

Находясь на методологической платформе системной парадигмы, мы будем использовать следующую типологию социально-экономических систем. Системы, имеющие имманентные границы в пространстве и во времени, относятся к числу проектных, или событийных; системы, не имеющие определенных имманентных границ ни во времени, ни в пространстве, относятся к числу средовых, или инфраструктурных; системы, имеющие определенные имманентные границы в пространстве, но лишенные таких границ во времени, относятся к числу объектных, или организационных; системы, имеющие определенные имманентные границы во времени и не имеющие таких границ в пространстве, относятся к числу процессных, или логистических. Комплекс, состоящий из объектной, проектной, процессной и средовой систем, называется тетрадой. Устойчивое функционирование тетрады обеспечивается передачей пространственно-временных и энергетических ресурсов по цепочке «среда – процесс – проект – объект – среда» (Клейнер, 2011). Наглядное изображение общего вида тетрады представлено на рисунке. Тетрада может рассматриваться как механизм реализации технологии, т.е. способа преобразования исходных ресурсов в полезную продукцию.

Соответствие между технологиями и механизмами их реализации в виде тетрад как клеточек экономического организма позволяет выделить базовые элементы механизма реализации технологии, соответствующие компонентам тетрады. Производственный комплекс в виде тетрады, предназначенный для реализации технологий, обеспечивает функционирование во времени и расширение/сохранение зоны хозяйствования в пространстве за счет создания и распространения своей продукции, выпускаемой по заданной технологии. Каждый из четырех компонентов комплекса осуществляет свою группу функций в ходе производства и реализации продукции. Проектная подсистема отвечает за организацию и проведение разнообразных краткосрочных производственно-хозяйственных мероприятий; процессная – за распространение их результатов по внутреннему пространству комплекса; объектная – за преемственность (непрерывность) развития комплекса при переходе от одного периода к другому; средовая – за пространственно-временную

однородность внутренней среды комплекса. Тем самым тетрада может рассматриваться как схема декомпозиции общего технологического процесса, т.е. его разделения на компоненты, связанные с преобразованием ресурсов подсистем в промежуточные результаты производственно-хозяйственной деятельности комплекса. К таким результатам относятся: создание полупродуктов; комплектование и складирование продукции; реализация продукции; подготовка производства к следующим циклам.

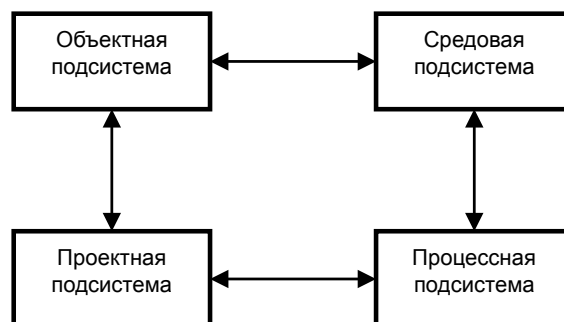


Рис. Тетрада как устойчивый комплекс взаимодействия объектной, средовой, процессной и проектной систем

Источник: составлено автором.

Для того чтобы производственный комплекс в виде тетрады осуществлял свои функции по реализации технологии, нужно обеспечить: а) внутренние контакты между отдельными составляющими комплекса, включая работников; б) необходимые перемещения ресурсов внутри комплекса, т.е. распространение результатов контактирования в рамках комплекса; в) закрепление результатов контактирования во времени; г) функционирование инфраструктуры, обеспечивающей целостность комплекса как системы. Таким образом, возникают четыре функции: а) контактная (реализуется проектной подсистемой); б) логистическая (реализуется процессной подсистемой); в) воспроизводственная (реализуется объектной подсистемой); г) общевосстановительная, интегративная (реализуется средовой подсистемой).

Для описания базовых элементов механизма реализации технологии с помощью компонентов тетрады имеет смысл, учитывая значимость технологий в сфере создания технических систем, дать более наглядную альтернативную характеристику компонентов тетрады, опирающуюся на понятие *формы*. Это имеет особое значение для исследователей, изучающих технические аспекты реализации технологии, и коррелируется с так называемым вещественно-полевым анализом, принятым в теории решения изобретательских задач (Альтшуллер, 2016; Юлдовский, Вайнерман, 1990; Петров, 2018).

В зависимости от устойчивости границ системы в пространстве, системы могут быть разделены на «твердые» и «мягкие». Твердые системы имеют более или менее устойчивые пространственно-временные формы, иными словами – более или менее однозначные и слабо зависящие от внешних воздействий границы между системой и ее окружением в пространстве-времени. В сфере техники примерами твердых систем могут считаться твердые физические тела; в экономике – предприятия и организации с однозначными бюджетными ограничениями; в социуме – семьи, жестко структурированные кланы, производственные коллективы, некоторые политические партии, формальные социальные институты. В бизнесе к твердым системам можно отнести построенные на основе жесткой дисциплины бизнес-ассоциации; в институциональном пространстве – комплексы утвержденных стандартов, регламентов, инструкций.

Мягкие системы, наоборот, имеют лабильные, а порой и нечеткие границы с пространственным окружением, не обладают устойчивой формой. В сфере техники примерами мягких систем служат системы, основанные на взаимодействии информационных или физических полей, жидкостей и т.п.; в экономике – открытые социально-экономические экосистемы, а также системы, границы которых обеспечиваются не вполне определенными отношениями доверия, силами инерционности развития, неформальными экономическими институтами; в социуме – системы, границы которых с окружающим пространством определяются неформальными социальными институтами, дружескими связями и амбициями; в бизнесе – находящиеся вне директивного

планирования системы, границы которых определяются мягкими бюджетными ограничениями, меняющимися бизнес-интересами, намерениями, моральными ограничениями.

Во временном измерении, дополняющем пространственное измерение, подобная классификация основывается на делении систем на краткосрочные и долгосрочные. Длительность жизненного цикла краткосрочных систем фиксирована. В области техники в качестве примера краткосрочной системы можно рассматривать электромобиль с ограниченным зарядом аккумулятора; в экономике – инвестиционный проект; в социуме – флешмоб. В бизнесе примерами краткосрочных систем являются транзакция, *IPO* и т.п.

Долгосрочные системы имеют не ограничиваемый априорно жизненный цикл. В технике примером долгосрочной системы является здание; в экономике – предприятие; в социуме примерами долгосрочных систем могут выступать политические партии, ориентированные не на ближайшие выборы, а на неограниченный период реализации идеологических установок, а также бессрочные общественные организации; в бизнесе – инвестирование в акции предприятий и т.п.

Морфологическое описание систем через характеристики изменчивости/стабильности формы в пространстве и длительности жизненного цикла во времени будем называть ниже пространственно-временным описанием.

Как легко видеть, цели и возможности твердых и мягких систем, как правило, различны. Подобным образом системы с определенным и кратким жизненным циклом с трудом взаимодействуют с системами неопределенной длительности. Иллюстрацией могут служить взаимоотношения между системой, реализующей проект по строительству здания (краткосрочная система), и системой эксплуатации построенного здания (система с неограниченным сроком действия).

Расширяя угол зрения, можно заметить, что основная проблема общества – организация эффективного взаимодействия твердых и мягких, краткосрочных и долгосрочных социально-экономических систем, в частности, согласование установок государства, социума, экономики и бизнеса. На макроуровне общества в целом государство представляет собой объектную систему с фиксированными территориальными границами и неограниченным жизненным циклом; социум – средовую систему с априорно неограниченным жизненным циклом, не имеющую имманентных территориальных границ; экономика – процессную систему, включающую производство, распределение, обмен и потребление благ; бизнес – проектную систему, нацеленную на реализацию разнообразных деловых проектов (Клейнер, 2013). При этом государство стремится обеспечить устойчивое продолжающееся социально-экономическое развитие общества на своей территории; социум стремится к достижению благосостояния для данного и ближайших последующих поколений каждой семьи; экономика нацелена на соединение производственных ресурсов для удовлетворения материальных потребностей социальных и экономических субъектов; бизнес ориентирован на получение финансового результата (прибыли) в кратчайшие сроки. Более подробно функции каждой из четырех макросистем изложены в (Клейнер, 2013). Гармоничное взаимодействие этих четырех макросистем – основа устойчивого развития страны.

Комбинируя деление систем на твердые и мягкие с делением на краткосрочные и долгосрочные, мы получаем классификацию систем в виде четырех групп: твердые краткосрочные; твердые долгосрочные; мягкие краткосрочные; мягкие долгосрочные. Легко видеть, что данная классификация совпадает с классификацией систем и делением их на проектные, объектные, процессные и средовые.

Обобщая рассмотренные примеры, мы можем сделать вывод, что проектные, объектные, процессные, средовые системы в общем случае являются неотъемлемыми составляющими технологии создания конечных благ. Соединение этих элементов в пространственно-временную цепочку, образующую тетраду, отражает устройство механизма реализации технологии. Охарактеризовать его можно без применения предметно-зависимых терминов. Тем самым мы получаем системное описание технологии. В таком виде могут быть представлены любые технологии, независимо от их масштаба, местоположения и цели их использования. В качестве базовых элементов механизма реализации технологии при таком подходе выступают проектные, объектные, процессные и средовые системы. В следующем разделе анализируются способы соединения данных элементов для формирования технологического маршрута.

Технологический маршрут как соединение базовых элементов реализации технологии: экономическое, пространственно-временное и системное описание

В данном разделе приводится стилизованное описание технологии с помощью категорий трех видов: 1) традиционные экономические категории, характеризующие факторы, процессы и результаты производства; 2) пространственно-временные категории, определяющие положение и динамику компонентов технологии в пространстве и во времени; 3) системные категории, описывающие компоненты технологии, составляющие производственную тетраду. В качестве типового иллюстративного примера технологии рассматривается технология металлообработки, ключевым звеном которой является технологическая операция штамповки, а орудием труда служит штамповочный пресс.

Начнем с описания технологии в общеэкономических категориях. К числу базовых факторов производства, независимо от его предметной специализации, в классической экономической теории традиционно относятся, как известно, средства труда, предметы труда и труд как целенаправленная человеческая деятельность по созданию ценностей с использованием средств труда и предметов труда. Средства труда включают в себя орудия труда и все материальные компоненты, которые не входят самостоятельно в трудовой процесс, но являются необходимыми для его осуществления (территория, сооружения, транспортные средства, средства логистики и др.). Процесс производства осуществляется с помощью орудий труда, в то время как труд в том или ином виде участвует во всех этапах производства.

Взаимодействие этих факторов во времени и в пространстве можно описать, опуская детали, следующим образом. Продукция (результат труда) возникает как следствие взаимодействия орудий труда и средств труда, которое осуществляется в пределах определенного предприятия (организации). При этом орудия труда воздействуют на предмет труда, после чего полученный продукт размещается в складском помещении, входящем в средовое пространство данного предприятия. Важно подчеркнуть, что взаимодействие орудий и предметов труда в общем случае происходит в режиме *воздействия*, т.е. относительно кратковременного и локального контакта. Этот контакт может рассматриваться как необходимый промежуточный элемент во взаимодействии орудий труда и предмета труда. Так, штамповка изделий из листового металла с помощью штамповочного пресса может быть представлена в виде следующих операций. Металлический лист (предмет труда) подается в пресс (орудие труда), после чего производится штамповка (ключевой производственный акт), вслед за которой результат труда помещается в специальную часть средового пространства предприятия, предназначенную для хранения готовой продукции. В итоге готовый продукт включается в рыночное пространство для дальнейшего распределения, обмена или потребления. Таким образом, в центре технологического процесса находится ключевая операция воздействия орудий труда на предмет труда.

С системных позиций это означает, что ведущая роль той или иной подсистемы в производственном цикле переходит последовательно от средовой подсистемы как общего пространства для всей работы к процессной подсистеме как средству доставки предмета труда в рабочее пространство, далее – к проектной подсистеме как акту воздействия орудия труда на предмет труда (штамповка), после этого – к объектной подсистеме как комплексу средств труда (пресс, оборудование для складирования и т.д.) и, наконец, – к средовой подсистеме как пространству, в котором происходит контакт с рынком для распределения, обмена и потребления произведенного продукта.

В пространственно-временных категориях механизм реализации технологии описывается следующим образом. Заметим, что орудие труда концептуально следует относить к числу твердых долгосрочных систем, предмет труда – к числу мягких краткосрочных, акт воздействия орудий на предмет труда – к числу твердых краткосрочных, а рабочее пространство – к числу мягких долгосрочных систем. Основываясь на представленной в конце первого раздела интерпретации твердых долгосрочных, мягких долгосрочных, мягких краткосрочных и твердых краткосрочных систем как объектных, средовых, процессных и проектных систем соответственно, а также на описании структуры их взаимодействия в процессе производства, мы можем сделать следующий вывод. Механизм реализации типовой технологии предусматривает последовательную передачу ведущей роли от

мягкой долгосрочной системы (среда) предприятия к мягкой краткосрочной системе (процесс подготовки предмета труда к акту производства), далее – к твердой краткосрочной системе (ключевая производственная операция), затем – к твердой долгосрочной системе (средства труда), наконец – к мягкой долгосрочной системе (среда). Таким образом, типовой технологический маршрут может быть представлен в виде траектории «среда – процесс – проект – объект – среда», которую проходят исходные ресурсы при переработке их в конечный продукт. Более детальный анализ мог бы выявить накопление в ведущей системе противоречий, требующих перехода доминирования к другой системе, снимающей данные противоречия.

Таким образом, технологический (производственный) процесс как совокупность (последовательность) операций, совершаемых при трансформации исходных ресурсов в конечную продукцию, мы описали с помощью экономических категорий: общее пространство и время для всей работы → средство доставки предмета труда в рабочее пространство → воздействие орудий на предметы труда → комплекс средств труда, включающий орудия труда, средства контроля, экспертизы и промежуточного хранения готовой продукции с целью ее продвижения на рынок → включение готовой продукции в рыночное пространство. Кроме того, данный процесс был описан с помощью пространственно-временных категорий: мягкая долгосрочная подсистема → мягкая краткосрочная подсистема → твердая краткосрочная подсистема → твердая долгосрочная подсистема → мягкая долгосрочная подсистема. Наконец, процесс был описан с помощью системных категорий: средовая подсистема → процессная подсистема → проектная подсистема → объектная подсистема → средовая подсистема. Взаимоотношения между тремя видами описания представлены в таблице.

Таблица

Три вида описания технологического процесса

Виды описания	Категории, используемые для описания элементов технологического процесса			
Общэкономическое	Доступное пространство и время для реализации технологического маршрута	Средство доставки предмета труда в рабочее пространство	Воздействие орудий труда на предметы труда	Комплекс средств труда, включая средства контроля, экспертизы и промежуточного хранения продукции
Пространственно-временное	Мягкая долгосрочная подсистема	Мягкая краткосрочная подсистема	Твердая краткосрочная подсистема	Твердая долгосрочная подсистема
Системное	Средовая подсистема	Процессная подсистема	Проектная подсистема	Объектная подсистема

Источник: составлено автором по результатам анализа.

Перейдем к исследованию особенностей взаимодействия между компонентами технологии для каждого из трех видов категориального описания технологии. Начнем с общэкономического описания. Взаимодействие компонентов технологического маршрута реализуется здесь в виде последовательности передач предмета/результата труда от одного компонента к другому. Важно подчеркнуть: речь идет не обязательно о физической передаче продукта или заготовки из одного места в другое, а о переходе данного продукта из сферы преимущественного влияния одной системы в сферу преимущественного влияния другой. Результат при этом возникает как следствие применения труда работников для завершения этапов технологического маршрута.

При пространственно-временном описании траектории технологического маршрута взаимодействие его компонентов реализуется в виде последовательности передач в указанном выше смысле товарно-материальных, информационных или иных благ, играющих роль предметов/результатов труда. Среди этих благ выделяются мягкие, теряющие свою форму в ходе технологического процесса (предметы труда), и твердые, возникшие в результате этого процесса (результаты

таты труда). Образование твердых благ (результатов труда) можно рассматривать как следствие применения труда в ходе технологического процесса.

Наконец, при системном описании технологического цикла взаимодействие его компонентов может быть интерпретировано как передача от одного компонента к другому в указанном выше порядке пространственно-временных ресурсов, а также способностей рассматриваемой системы к эффективному использованию этих ресурсов. Пространственно-временные ресурсы при этом могут опосредоваться в виде предметов труда (рабочее пространство), средств труда, перенося свою стоимость на продукт производства одномоментно (в случае аренды пространства на производство одного изделия) или постепенно (в случае аренды пространства на длительный срок или обладания ресурсом пространства в виде собственности). Взаимодействие четырех видов систем в тетраде, изображенное на рис. 1 в виде двусторонних стрелок, может быть раскрыто следующим образом. Средовая система предъявляет спрос на способности эффективно использовать пространство и время и получает их, соответственно, от объектной и процессной; в свою очередь, передает процессной системе запас временных ресурсов и объектной системе – запас пространственных ресурсов. Процессная система предъявляет спрос на ресурсы времени, а также на способности по эффективному использованию ресурсов пространства и получает их, соответственно, от средовой и проектной; передает проектной системе запас пространственных ресурсов и средовой – способности по эффективному использованию ресурсов времени. Проектная система предъявляет спрос на ресурсы пространства и времени и удовлетворяет его за счет, соответственно, процессной и объектной; наделяет объектную систему способностями к эффективному использованию ресурсов времени, процессную – способностями к эффективному использованию ресурсов пространства. Объектная система предъявляет спрос на ресурсы пространства и на способности по эффективному использованию ресурсов времени и удовлетворяет его за счет, соответственно, средовой и проектной; передает средовой системе способности по эффективному использованию ресурсов пространства и проектной – запас ресурсов времени. Функционирование тетрады, таким образом, можно в какой-то степени уподобить деятельности рынка, в котором процессы спроса и предложения ресурсов ведут к равновесному состоянию при минимизации дефицита и избытка ресурсов, находящихся в компетенции каждой из систем тетрады. Механизмы трансфера ресурсов подробно описаны в (Клейнер, 2011). Подчеркнем, что указанная структура взаимодействия между компонентами системного описания технологии характеризует обобщенным образом регулярный (а не единичный) процесс взаимодействия, в конкретных случаях опосредуемый в виде движения предметов и результатов труда, что соответствует понятию технологии как воспроизводимого способа преобразования ресурсов в конечную продукцию.

Анализируя компоненты технологического цикла, мы можем заметить, что во всех трех случаях каждый из компонентов характеризуется двумя качественными показателями:

- в общеэкономическом измерении – наличием/отсутствием имманентных границ в пространстве и краткосрочностью/долгосрочностью периода переноса стоимости ресурса на продукт;
- в пространственно-временном измерении – твердостью/мягкостью и краткосрочностью/долгосрочностью соответствующих систем;
- в системном измерении – ограниченностью/неограниченностью в пространстве и ограниченностью/неограниченностью во времени.

Рассматривая технологический маршрут (рис. 1) под таким углом зрения, можно сделать вывод, что соседними являются компоненты, у которых одна из двух характеристик совпадает. Так, при пространственно-временном описании твердый краткосрочный компонент взаимодействует с одной стороны с твердым долгосрочным компонентом, с другой стороны – с мягким краткосрочным компонентом. Тем самым обеспечивается, условно говоря, плавность («бесшовность») перехода от одного компонента технологического маршрута к другому и, соответственно, гармоничность технологического маршрута в целом. Можно полагать, что такой способ организации маршрута обеспечивает и наименьшую стоимость эксплуатации технологии. Взаимоотношения между соседними системами тетрады реализуют, как мы видели, баланс пространственно-временных и энергетических ресурсов между спросом со стороны одной подсистемы и предложением со стороны другой.

Последовательность передачи ведущих функций от одного компонента тетрады к другому может быть обоснована исходя из следующих соображений. Опираясь на экономический смысл технологического маршрута, будем считать его начальным элементом средовой компонент, где размещаются подлежащие обработке предметы труда; центральным элементом будем считать проектный компонент, в рамках которого происходит преобразование предмета труда в результат труда. Это означает, что в технологическом маршруте средовой компонент получает порядковый номер один, а проектный – номер три. Статус ведущего компонента под номером два могут получить либо процессный, либо объектный компоненты. Различие между этими компонентами состоит в том, что объектный имеет пространственные ограничения, а у процессного таких ограничений нет. Это означает, что наиболее естественным и наименее затратным движением предмета труда по технологическому маршруту, скорее всего, является перемещение предмета труда под «юрисдикцию» процессного компонента. Процессный компонент получает второй номер в цепочке ведущих компонентов технологического маршрута. Следующим этапом является включение предмета труда в сферу действия проектного компонента, реализующего центральную операцию регулярного технологического процесса – акт воздействия орудия труда на предмет труда. Результатом функционирования проектного компонента является продукт труда, включаемый в пространство объектного компонента, объединяющего орудия и другие средства труда, а также его результаты. Тем самым ведущая роль на данном этапе переходит к объектному компоненту.

Непрерывность технологического маршрута может быть обеспечена исходя из следующих соображений. При формировании технологического маршрута необходимо учесть его неоднократную повторяемость. Для этого маршрут должен быть непрерывным. Иными словами, предпочтительным является такой вариант маршрута, в котором максимально близкие по положению технологической цепочки компоненты являются также максимально близкими по своим характеристикам. Формализованное обоснование этого утверждения приведено в (Клейнер, 2013: 11–12).

Таким образом, реализация технологии предполагает тетрадный комплекс «объектная – средовая – процессная – проектная система». Траектория полного технологического цикла проходит через все указанные системы, в то время как траектория самостоятельной части технологического цикла реализуется в виде связного фрагмента тетрадного комплекса. В этом случае переход от одного этапа к другому является относительно низкозатратным, поскольку такой переход соответствует взаимодействию систем, предрасположенных по своей природе к координации. В таком маршруте нет необходимости преодолевать барьеры между этапами в ходе реализации технологии. Это определяет преимущества тетрадного контура как шаблона технологических маршрутов перед другими вариантами сочетания базовых элементов механизма реализации технологии. Такая конструкция технологического маршрута должна обеспечивать минимальную затратность и максимальную устойчивость технологии. Тетрада как комплекс систем, являющийся носителем для технологических маршрутов, может претендовать на роль единицы в технологическом пространстве экономики.

В заключение данного раздела отметим, что представленный выше триединый анализ технологии – экономический, пространственно-временной и системный – позволяет уяснить место технологии в каждом из трех основных вариантов видения картины мира: экономическом, техническом, системном. Это дает возможность сформировать объемное представление о сущности и формах технологии в современном мире.

Выводы

Системный анализ технологии на операционном уровне позволяет сделать следующие выводы.

1. Для исследования и оценки технологии производства как регулярного способа преобразования исходных ресурсов в готовую продукцию в рамках определенного хозяйствующего субъекта целесообразно представлять механизм реализации технологии (процесс производства) как систему, включающую все основные операции и этапы производства.

2. Узловыми точками технологического маршрута и, соответственно, базовыми элементами механизма реализации технологии являются: проектная система, реализующая основную технологическую операцию; объектная система, обеспечивающая возможность применения средств

труда и самого труда для производства и распределения продукции; процессная система, осуществляющая доставку предметов труда в рабочее пространство; средовая система, охватывающая все внутреннее пространство-время субъекта и интегрирующая ресурсы и результат всех внутренних процессов. По мере прохождения технологического маршрута каждый из этих узловых элементов последовательно берет на себя ведущую роль в общем технологическом процессе.

3. Базовой платформой для описания технологии и механизма ее реализации является тетрада как относительно устойчивый комплекс взаимодействия проектной, объектной, процессной и средовой систем. Каждая из них связана наиболее значимыми взаимодействиями с двумя соседними системами. Технологический маршрут, представляющий собой связный фрагмент траектории «среда – процесс – проект – объект – среда», является наиболее рациональным с точки зрения затрат на преодоление барьеров между соседними системами.

4. Требования, вытекающие из пункта 3, необходимо учитывать в ходе проектирования и анализа технологий во всех сферах экономики, техники, политики, социальной инженерии. Необходимы разработка, апробация и распространение методики системного аудита реальных технологий с целью анализа соответствия технологии указанным требованиям.

Обсуждение результатов

В работе Г.Я. Красникова и соавторов (2017) подчеркивается высокий уровень абстракции понятия «технология», поскольку оно применяется при описании как технической, так и живой или социальной реальности. По сути дела, данное понятие относится к тому же уровню абстракции, на котором расположены термины «ресурс», «продукт», «эффективность» и т.п.

В монографии тех же авторов (Красников и др., 2020) систематизированы теоретические исследования в области общей теории технологий и применения ее в сфере создания микроэлектронной техники. Был намечен своеобразный технологический маршрут движения от абстрактной теории к методам организации полного цикла создания продукта с целью минимизации совокупных затрат при максимально возможном полезном эффекте на примере интегральных микросхем. Это направление, по мнению авторов указанной монографии, может стать фундаментом для применения системно-технологических методов в технике, биохимии, генной инженерии, физиологии и др. (см. также: Романенко, Никитина, 2011). К этому мнению нельзя не присоединиться.

В теории решения изобретательских задач, направленной на создание технологий, обеспечивающих сочетание противоречивых требований к разрабатываемым техническим системам, особое внимание уделяется организации взаимодействия двух противоположных по своим свойствам субстанций: «вещества» и «поля» (Альтшуллер, 2016; Голдовский, Вайнерман, 1990; Петров, 2018). Анализ на основе обобщенных принципов системной экономической теории показывает, что «вещество» как твердая субстанция («твердая долгосрочная система») и «поле» как мягкая субстанция («мягкая краткосрочная система») являются аналогами, соответственно, объектного и процессного компонентов тетрады. Рациональное решение задачи включения их в единый технологический маршрут создания нового изделия (или нового экземпляра изделия), как это вытекает из сказанного выше, должно предусматривать технологический маршрут в виде связного фрагмента тетрады, соединяющего средовой, процессный, проектный и объектный компоненты. Отметим попутно, что наряду с теорией решения изобретательских задач (ТРИЗ) может быть разработана теория решения экономических задач (ТРЕЗ), основанная на применении теории тетрад как технологических единиц экономики.

Изложенные выше способы пространственно-временного и системного описания и анализа проблемной ситуации позволяют распространить методы формирования низкозатратных и устойчивых технологий на сферы общества (социальные технологии), политики (политические технологии), информатики (информационные технологии), биологии (биотехнологии) и др. В итоге выход на системный уровень в контексте системной парадигмы позволяет получить инструмент, дающий возможность не только рационализировать и единообразно описывать поиск технологических решений в конкретной сфере, но и переносить эффективные решения из одной сферы в другую. Изучение возможностей и путей применения изложенной в статье методологии в указанных сферах требует дальнейшего исследования.

Развитый в настоящей работе подход к формированию общей теории технологий дает, как мы надеемся, в руки разработчика и исследователя технологий методологический инструментарий для анализа гармоничности отдельных технологических маршрутов с точки зрения синтеза базовых компонентов технологического процесса. Распространение данного подхода на принятие экономических решений в различных сферах и на различных уровнях народного хозяйства создает, по нашему мнению, предпосылки для фронтальной технологической модернизации экономики.

Литература / References

- Альтшуллер Г.С. (2016). *Найти идею. Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач*. М.: Альпина Паблишер. [Altshuller, G. (2016). *Find an Idea. Introduction to TRIZ – The Theory of Solving Inventive Problems*. Moscow: Alpina Publisher. (in Russian)].
- Бахтизин А.Р., Макаров В.Л. и др. (2023). *Основные направления социально-экономического развития России: обоснование и оценка последствий (по итогам модельных исследований ЦЭМИ РАН)*. М.: ЦЭМИ РАН. [Bakhtizin, A., Makarov, V. et al. (2023). *The Main Directions of Socio-Economic Development of Russia: Justification and Assessment of Consequences (Based on the Results of Model Studies of the Center for Economics and Mathematics of the Russian Academy of Sciences)*. М.: CEMI RAS Publ. (in Russian)].
- Бордовская Н.В., Кошкина Е.А., Бочкина Н.А. (2020). Образовательные технологии в современной высшей школе (анализ отечественных и зарубежных исследований и практик). *Образование и наука* **22**(6), 137–175. [Bordovskaya, N., Koshkina, E., Bochkina, N. (2020). Educational technologies in modern higher education (analysis of domestic and foreign research and practice). *Education and Science* **22**(6), 137–175 (in Russian)]. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-6-137-175
- Гареев Т.Р. (2023). Технологический суверенитет: от концептуальных противоречий к практической реализации. *Terra Economicus* **21**(4), 38–54. [Gareev, T. (2023). Technological sovereignty: From conceptual contradictions to practical implementation. *Terra Economicus* **21**(4), 38–54 (in Russian)]. DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-4-38-54
- Глазьев С.Ю. (2022). Глобальная трансформация через призму смены технологических и мирохозяйственных укладов. *AlterEconomics* **19**(1), 93–115. [Glazyev, S. (2022). Global transformation through the prism of changing technological and world economic structures. *AlterEconomics* **19**(1), 93–115 (in Russian)]. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2022.19-1.6
- Голдовский Б.И., Вайнерман М.И. (1990). *Рациональное творчество. О направленном поиске новых технических решений*. М.: Речной транспорт. [Goldovsky, B., Vainerman, M. (1990). *Rational Creativity. On the Targeted Search for New Technical Solutions*. Moscow: Rechnoi transport Publ. (in Russian)].
- Дементьев В.Е. (2023). Технологический суверенитет и приоритеты локализации производства. *Terra Economicus* **21**(1), 6–18. [Dementiev, V. (2023). Technological sovereignty and production localization priorities. *Terra Economicus* **21**(1), 6–18 (in Russian)]. DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-1-6-18
- Зотов В.В., Попел А.Е., Петросян А.Д. (2022). *Социальная инженерия: теория и практика*. М.: Руснайс. [Zotov, V., Popel, A., Petrosyan, A. (2022). *Social Engineering: Theory and Practice*. Moscow: Rusnais Publ. (in Russian)].
- Клачек П.М., Корягин С.И., Лизоркина О.А. (2015). *Интеллектуальная системотехника*. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта. [Klachek, P., Koryagin, S., Lizorkina, O. (2015). *Intelligent Systems Engineering*. Kaliningrad: Publishing House of Immanuel Kant Baltic Federal University (in Russian)].
- Клейнер Г.Б. (2011). Новая теория экономических систем и ее приложения. *Вестник РАН* **81**(9), 794–808. [Kleiner, G. (2011). New theory of economic systems and its applications. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences* **81**(9), 794–808 (in Russian)].
- Клейнер Г.Б. (2013). Какая экономика нужна России и для чего? (опыт системного исследования). *Вопросы экономики* (10), 4–27. [Kleiner, G. (2013). What kind of economy does Russia need and why? (Experience of systems research). *Voprosy Ekonomiki* (10), 4–27 (in Russian)].
- Клейнер Г.Б. (2021). *Системная экономика: шаги развития*. М.: Научная библиотека. [Kleiner, G. (2021). *System Economics: Steps of Development*. Moscow: Publishing House “Nauchnaya biblioteka” (in Russian)].

- Красников Г.Я., Горнев Е.С., Матюшкин И.В. (2017). Общая теория технологии и микроэлектроника: часть 2. Вопросы метода и классификации. *Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника* (4), 16–41. [Krasnikov, G., Gornev, E., Matyushkin, I. (2017). General theory of technology and microelectronics: Part 2. Issues of methodology and classification. *Electronic Engineering. Series 3: Microelectronics* (4), 16–41 (in Russian)].
- Красников Г.Я., Горнев Е.С., Матюшкин И.В. (2020). *Общая теория технологий и микроэлектроника*. М.: Техносфера. [Krasnikov, G., Gortsev, E., Matyushkin, I. (2020). *General Theory of Technology and Microelectronics*. Moscow: Technosfera Publ. (in Russian)].
- Малкин Е.Б., Сучков Е.Б. (2017). *Политические технологии*. М.: Русская панорама. [Malkin, E., Suchkov, E. (2017). *Political Technologies*. Moscow: Russkaya panorama Publ. (in Russian)].
- Некипелов А.Д. (2021). Об экономической стратегии и экономической политике России в современных условиях. *Научные труды Вольного экономического общества России* **230**(4), 76–89. [Nekipelov, A. (2021). On economic strategy and economic policy in Russia under current conditions. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia* **230**(4), 76–89 (in Russian)]. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-76-89
- Перес К. (2011). *Технологические революции и финансовый капитал: динамика пузырей и периодов процветания*. М.: Дело. [Perez, C. (2011). *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Periods of Prosperity*. Moscow: Delo Publ. (in Russian)].
- Петров В.М. (2018). *Основы ТРИЗ. Теория решения изобретательских задач*. Екатеринбург: Издательские решения. [Petrov, V. (2018). *The Theory of Solving Inventive Problems*. Yekaterinburg: Izdatelskie resheniya Publ. (in Russian)].
- Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016). Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий. *Экономика науки* **2**(4), 244–260. [Petrov, A., Sartori, A., Filimonov, A. (2016). Comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness. *Economics of Science* **2**(4), 244–260 (in Russian)].
- Романенко В.Н., Никитина Г.В. (2011). *Общие технологии*. СПб.: Изд. ИВЭСЭП. [Romanenko, V., Nikitina, G. (2011). *General Technologies*. Saint Petersburg: Publishing house IVESEP (in Russian)].
- Сухарев О.С. (2023a). Специфика технологического развития России. *Экономические стратегии* **25**(4), 64–71. [Sukharev, O. (2023a). Specifics of technological development of Russia. *Economic Strategies* **25**(4), 64–71 (in Russian)].
- Сухарев О.С. (2023b). *Технологический дуализм и модели индустриализации экономики*. М.: ЛЕНАНД. [Sukharev, O. (2023b). *Technological Dualism and the Models of Economic Industrialization*. Moscow: LENAND Publ. (in Russian)].
- Chang, Y., Yang, S. (2011). Literature review on endowments of factor of production. In: Pan, W., Ren, J., Li, Y. (eds.) *Advanced Materials Research*. Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, Ltd., vols. 347–353, pp. 2884–2888. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.347-353.2884
- Edler, J., Blind, K., Kroll, H., Schubert, T. (2023). Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means. *Research Policy* **52**(6). DOI: 10.1016/j.respol.2023.104765
- Kornai, J. (1998). The system paradigm. William Davidson Institute Working Papers Series 278. William Davidson Institute at the University of Michigan, 26 p.
- Schot, J., Geels, F. (2007). Niches in evolutionary theories of technical change. A critical survey of the literature. *Journal of Evolutionary Economics* **17**, 605–622.
- Xu, B., Chaudhry, S., Li, Ya. (2009). Factors of production: Historical theories and new developments. *Systems Research and Behavioral Science* **26**(2) (Special issue: Systems Science and Enterprise Integration, Technological Economics and the Theory of Material Flow), 219–224. DOI: 10.1002/sres.972