

TRIZ Developers Summit 2020

August 17-21, 2020. Minsk, Belarus

Системный вакуум и функции в ТРИЗ и эволюциоведении

Игорь Мисюченко^a, Михаил Рубин^b

^aООО «Хилби», Санкт-Петербург, Российская Федерация

^b «РУСАЛ Менеджмент», Москва, Российская Федерация

Abstract

System vacuum and function in TRIZ and Evolution Science.

The report presents the results of research work that generalizes the concept of emptiness and vacuum for any system: material or non-material. The concept of system vacuum is introduced for various hierarchical levels of systems: physical vacuum, chemical vacuum, biological vacuum, technical vacuum, etc. The concept of a generalized principle of action model for any systems is introduced as a set of functions necessary for the implementation of a particular action on objects. The stages of development of the generalized principle of action and the role of emptiness in its implementation are described. The concept of emptiness as an ideal element in the function model is introduced.

Keywords: TRIZ, Systems Evolution Science, Evolution Science, system vacuum, spatial emptiness, system emptiness, temporal emptiness, pauses, hierarchy of system vacuum and emptiness, ele-field, evolution of functions, function, principle of operation, system genesis

Аннотация

В докладе представлены результаты исследовательской работы, обобщающей понятие пустоты и вакуума для любой системы: материальной или нематериальной. Вводится понятие системного вакуума для различных иерархических уровней систем: физический вакуум, химический вакуум, биологический вакуум, технический вакуум и т.д. Вводится понятие модели обобщенного принципа действия для любых систем как совокупность функций, необходимых для реализации того или иного действия над объектами. Описаны этапы развития обобщенного принципа действия и роль пустоты при его реализации. Вводится понятие пустоты как идеального элемента в модели функции.

Ключевые слова: ТРИЗ, эволюционное системоведение, эволюциоведение, системный вакуум, пространственная пустота, системная пустота, пустота во времени, паузы, иерархия системного вакуума и пустоты, элеполь, эволюция функций, функция, принцип действия, системогенез

1. Введение

Эволюционное системоведение (эволюциоведение [10]) – это область теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), занимающаяся изучением общих законов и инструментов развития любых систем. Эволюциоведение изучает не только материальные, но и нематериальные системы в их развитии на основе общих законов и закономерностей, либо на основе решения возникающих в системе противоречий требований. В эволюциоведении используются достижения не только ТРИЗ, но и других научных подходов: системного, функционального, эволюционного, модельного, параметрического и других.

Понятия нуля, пустоты, паузы, молчания являются важными и даже фундаментальными в науке и в искусстве [13-18, 25]. В театральном искусстве, в кинематографе, пауза исторически является важнейшим выразительным инструментом (ср. «театральная пауза») [24]. Утверждается, например, что Пушкин А.С. является основоположником «пустотности» в литературе [14]. Не удивительно, что говорят: молчание (то есть пауза, пустота) – золото. В этой статье мы постараемся описать особенности и способы применения этого «золота» в развитии систем.

2. Пустота и вакуум в классической ТРИЗ

Напомним вначале краткую историю возникновения и использования понятий «пустота» и «вакуум» в ТРИЗ. Альтшуллер Г.С. в 1963 году [1, 2] описал «типовой способ устранения технического противоречия: совместить в пространстве несколько объемов (принцип «матрешки»)). То есть пустое пространство одного объекта используется для размещения в нем другого объекта.

В 1973 году [3] в списке дополнительных приемов Альтшуллер Г.С. вводит сразу три приема, связанные с пустотой (в широком смысле этого слова): 41. Использование пауз, 43. Применение пены, 48. "Мешок с вакуумом".

С 1979 года Г.С. Альтшуллер в рамках развития системы стандартов на решение изобретательских задач (система из 28 стандартов и далее) вводит стандарты: «Вместо вещества используют «пустоту»», «Введение большого количества вещества – «пустота» и пена», «Использование наддувных конструкций, пузырьков, использование пауз» [7].

В 1981 году вводится понятие «отсутствующее взаимодействие»: «Взаимодействия могут быть четырех видов: полезные, вредные, отсутствующие (взаимодействия нет, но его нужно ввести), неполные (например, взаимодействие есть, но оно не поддается управлению)» [4].

При описании ключевых новшеств в АРИЗ 85-в Альтшуллер Г.С. отметил, что в нем, в частности, «усилена ориентировка на идеальность - подчеркнуто значение "пустоты" как самого выгодного ВПР» [6]. В нескольких примечаниях и правилах к АРИЗ Г.С. Альтшуллер вводит понятие пустоты в ТРИЗ:

«Примечание 35. Пустота - исключительно важный вещественный ресурс. Она всегда имеется в неограниченном количестве, предельно дешева, легко смешивается с имеющимися веществами, образуя, например, полые и пористые структуры, пену, пузырьки и т.д.

Пустота – это не обязательно вакуум. Если вещество твердое, пустота в нем может быть заполнена жидкостью или газом. Если вещество жидкое, пустота может быть газовым пузырьком. Для вещественных структур определенного уровня пустотой являются структуры нижних уровней (см. примечание 37). Так, для кристаллической решетки пустотой являются отдельные молекулы, отдельные атомы и т.д.» [5].

Кроме понятия пустоты вводится понятие («отсутствующий элемент»): «Правило 3. Большая часть задач содержит конфликты типа «много элементов» и «мало элементов» («сильный элемент» — «слабый элемент» и т. д.). Конфликты типа «мало элементов» при усилении надо приводить к одному виду — «ноль элементов» («отсутствующий элемент»)» [5].

В 1987 году была разработана линия увеличения «пустотности» в развитии систем [8].

«Основные элементы линии «пустотности» (рис. 1):

- 1 - сплошной объект;
- 2 - "пустота" вне прямого контакта с объектом;
- 3 - "пустота" соприкасается с объектом;

- 4 - "пустота" частично вклинивается в объект;
- 5 - "пустота" внутри объекта;
- 6 - раздробленная "пустота";
- 7 - сквозная "пустота" ("пустая" трубка в сплошном объекте);
- 8 - капиллярная структура;
- 9 - цеолитовая структура (трубки образованы молекулами);
- 10 - "пустота" выделяется из объекта в результате физэффекта (например, возникновение пузырьков при кипении жидкости; другой пример - решение задачи 10 в книге "Алгоритм изобретения", с. 205 и с. 260);
- 11 - "пустота" выделяется при химическом разложении вещества (например, выделение газа при реакции разложения).



Рис.1. Линия увеличения «пустотности» [8].

Можно продолжить эту линию. Вспомним, что «пустота» также может выделяться ниже химического уровня, например, при ядерных реакциях и при реакциях аннигиляции. Нетрудно заметить общее направление линии: увеличивается взаимодействие между объектом и "пустотой" - вплоть до превращения этих компонентов в единую систему.

В 1988 г. было опубликовано исследование применения времени как одного из характеристик процессов, в том числе использование пауз (хронокинематика) [9].

Таким образом, последовательно на протяжении более 20 лет в ТРИЗ вводились термины, которые так или иначе связаны с понятиями вакуума и пустоты в самом широком смысле: «матрешка», паузы, пена, пузырьки, «мешок с вакуумом», пустота, отсутствующие связи, отсутствующий элемент, линия увеличения «пустотности», хронокинематика.

3. Системный вакуум и пустота в эволюциоведении.

3.1. Уровни системного вакуума.

Обратимся теперь к более широкому классу систем, нежели технические системы. В эволюциоведении рассматриваются общие для всех систем понятия и закономерности, поэтому для этой области было введено общесистемное, универсальное понятие – системный вакуум [11]. Необходимо отметить, что понятие системный вакуум и пустота – это фактически синонимы, как, собственно, и предполагает латинский язык – *vacuum*

переводится как пустота. Для того, чтобы определить это понятие для всех существующих материальных и нематериальных систем необходимо обратить внимание на одно общее свойство пустоты или нуля. Ноль не бывает абсолютным и всеобъемлющим, он всегда относится к чему-то определенному, например, ноль яблок, ноль денег, ноль звезд, ноль молекул, ноль цифр, ноль элементов и т.д. Это означает, что всегда есть определенный контекст использования понятий пустоты и нуля. В рамках понятия «системный вакуум» мы всегда будем подразумевать, что речь идет о пустоте чего-то, а не просто об абстрактной и неопределенной пустоте: физический вакуум, химический вакуум, биологический вакуум, социальный вакуум, экономический вакуум, техническая пустота, душевная пустота и т.д. Это соответствует понятию «пустота» для технических систем, введенного Г.С. Альтшуллером.

Еще одно важное понятие – это системный уровень рассматриваемого объекта. Можно выделить три независимых линии в рассмотрении уровней систем: 1) линия уровня организации, 2) линия пространственного уровня, 3) линия времени. Относительная независимость этих линий не означает, что для конкретного объекта эти три параметра не зависят друг от друга: в зависимости от уровня и особенностей организации объекта может быть разное пространство (ареал) распространения, а само распространение и изменения могут проходить только во времени.

Уровень организации систем определяется двумя признаками: является ли один объект подсистемой или надсистемой другого (подсистема – это более низкий уровень) и уровнем сложности организации однотипных систем (в том числе количество элементов, связей между ними), полноты выполняемого комплекса функций (чем менее сложная система, тем ниже уровень). Например, физические элементы являются подсистемой химических, химические элементы – подсистема биологических и т.д. В соответствии с этой линией определяется и уровень организации этих систем. Менее определенными являются линии сложности систем. Общеизвестна, например, линия сложности химических элементов в таблице Менделеева: водород, гелий, литий, бериллий, бор, углерод, азот и т.д. Одним из направлений научного поиска в химии является исследование критериев сложности элементов, например, количество атомов, многообразие элементов в молекуле, сложность базового элемента молекулы, длина цепочки химических связей и др. [19]. Аналогичные понятия сложности системы используются и в биологии, и в технических системах, и в любых иных развивающихся системах. Одним из общих критериев сложности может быть объем информации в системе [20]. При указании пустоты необходимо указывать организационный уровень этой пустоты: отсутствующий организм, орган, аминокислоты, молекулы или атомы, или даже элементарные частицы и поля.

Пространственный уровень определяется масштабом рассматриваемого пространства (не обязательно физического), например, на уровне галактик – одна пустота, на уровне планет – другая пустота, а на уровне клетки – совсем иная пустота. Практически бесконечными могут быть уточнения координат того или иного объекта, например: Солнечная система – планета Земля – Российская Федерация – Москва – улица – дом – квартира – шкаф – полка – книга – страница ... Конечно же, в указанных координатах может оказаться пустота. Всегда есть любители переложить вещь с места на место. Масштаб пустоты при этом будет разным. Одно дело пустая (отсутствующая) планета и совсем другое – отсутствующая или пустая страница.

Линия времени – это линия закономерных и часто неотвратимых эволюционных изменений в развитии системы, например, линии сукцессий в экосистемах [21], звездная эволюция [22] и другие закономерности развития систем. Линии развития систем сопровождаются процессами синтеза (ассоциации) и распада (диссоциации). В экосистемах обратимые изменения в системе называются флуктуациями [23]. Как и в случае с пространством, масштаб временного интервала может быть большим (например,

формирование галактики), покороче (например, каменный век) и совсем маленький (время поглощения атомом кванта света). Системный вакуум для линии времени – это паузы в тех или иных процессах.

В таблице 1 представлена классификация видов системного вакуума.

Таким образом, для характеристики системного вакуума необходимо указывать о каком аспекте идет речь, о каком конкретном уровне организации, в каком пространстве и в какой период времени. Заполнить системный вакуум данного уровня можно синтезом из нижележащего уровня, разложением вышележащего уровня, перемещением в другое пространство и время. Аналогично можно и создавать системный вакуум, заменяя удаляемый элемент элементом нижележащего уровня или извлекая его из вышележащего уровня или из соседнего пространства.

Примеры формирования системного вакуума:

- Удаление всех элементарных частиц, атомов, молекул в какой-то области пространства создаёт в нём технический вакуум.
- Удаление молекул и атомов создаёт химический вакуум, при этом в данной области пространства может быть множество элементарных частиц, но не соединенных ни в один химический элемент (например, высокотемпературная плазма).
- Полная стерилизация какого-либо участка пространства создаёт в нём биологический вакуум, так как не остаётся ничего живого.
- Удаление из пространства людей и технических систем создаст в нём социально-технический вакуум,
- Прекращение экономических процессов создает экономический вакуум и т.п.

Таблица.1. Аспекты и уровни системного вакуума

Аспект \ Уровень	Физический	Химический	Биологический	Социально-технический
Уровень организации	Физическое отсутствие элементарных частиц и полей	Отсутствие химических элементов	Отсутствие живой материи	Отсутствие социальных и технических элементов
Пространственный уровень	Физическое пустое пространство	Пространство без химических элементов	Пространство без живых элементов	Пространство без людей и технических систем
Линия времени	Паузы в физических процессах	Отсутствие химических реакций	Отсутствие биологических процессов	Отсутствие социально-технических процессов

Закон транзитивности системного вакуума: Вакуум нижележащего уровня является также вакуумом для данного уровня развития системы. Например, физический вакуум может выполнять роль и химического, и биологического, и социально-технического. Биологический вакуум может выполнять роль социально-технического, но не наоборот.

3.2. Свойства системного вакуума. Идеальный элемент.

Кратко рассмотрев уровни и линии системного вакуума, обратимся теперь к его основным свойствам. Необходимо понимать, что мы живем в мире пустоты. Например, в атоме водорода 99,999% объема – это пустота. Гелий на 99, 98% состоит из пустоты. В молекуле воды примерно 50% пустоты. «Но свободный объем очень важен и нужен, поскольку он определяет фундаментальные свойства жидкостей: их вязкость, скорость самодиффузии или диффузии растворенных в них веществ. Без свободного объема

жидкости не могли бы даже течь»¹. Еще в XVIII веке философ Кант предположил, что вселенная похожа на сеть, то есть пустоты в ней гораздо больше, чем материи. До 90% вселенной занимает пустота. Пустота во вселенной может расти, перемещаться, изменять структуру и форму. «Самые широкие пустоты – Волопаса (100 мегапарсек в поперечнике), Козерога (230 мпк; но она еще не доказана) и Эридана (по оценкам, 280 мпк). Форма пустоты обычно вытянутая. Чем больше пустота, тем она ближе к форме сферы. Но сферы – только пустоты, изолированные от других. Пустоты-сферы пересекаются и образуют иные формы: «гантель», «бумеранг», «цепь»»².

Модель системного вакуума – это пустой элеполь (рис. 3), в котором хотя бы один элемент или одно поле является пустым (не неизвестным, а именно пустым). В пустом элеполе один элемент – это пустота, а второй обязательный элемент в элеполе – это окружение пустоты. Фактически пустой элеполь – это бисистема из пустоты и антипустоты. Пустота может быть внутри антипустоты, или может окружать антипустоту, или может быть смесь пустоты и антипустоты. Соответственно могут формироваться различные структуры из пустоты и антипустоты. Таким образом, вакуум, пустота на всех уровнях способны играть созидательную роль, а не просто указывать на отсутствие чего-либо. Если и существует в реальности идеальный элемент, то это как раз системный вакуум или пустота.

Как и любой элемент, системный вакуум имеет свои свойства (вне зависимости от его уровня организации):

1. Системный вакуум данного уровня минимизирует взаимодействие находящихся в нем элементов более высокого уровня. Например, взаимодействие между живыми системами, разделенными пустыней (биологическим вакуумом) всегда минимально. В то же время взаимодействие между живыми системами в джунглях – намного сильнее. То есть системный вакуум может характеризоваться плотностью, проницаемостью.
2. Системный вакуум никогда не сводит взаимодействие элементов более высокого уровня к нулю, он обеспечивает им взаимодействие даже тогда, когда между ними нет других компонентов данного уровня. Характеристика – целостность.
3. Системный вакуум порождает «пространство», в котором размещаются элементы более высокого уровня. Так, например, биологические элементы (виды, подвиды) различаются по географическому пространству (ареалу обитания). Химические элементы различаются по положению в физическом пространстве. То есть он характеризуется координатами, формой, объемными свойствами.
4. Системный вакуум (данного уровня) порождает «время» (темп) в котором существуют системы более высокого уровня, поскольку задаёт неустранимую инерцию для системы. Например, химическая реакция никак не может идти быстрее, чем это позволяет скорость света (определяемая физическим вакуумом), как бы мы ни старались её ускорить. Живые организмы в океане никак не могут двигаться и взаимодействовать также быстро, как в воздухе (акула – 56 км/час, гепард – около 120, птица – более 300 км/ч). То есть системный вакуум характеризуется временными характеристиками: время события, интервалы времени, скорость изменений и т.д.
5. Системный вакуум обладает способностью к движению. Движение системного вакуума (данного уровня) оказывает влияние на элементы более высокого уровня. Характеристика – скорость перемещения. Пример: бионта, живущая в проточной воде сильно отличается от живущей в стоячей (неподвижной) воде.
6. Системы более высокого уровня по мере развития могут оказывать сильное влияние на системный вакуум данного уровня. Например, социально-технические системы создают *новые виды животных, новые бактерии, новые вирусы*, синтезируют *новые химические вещества*, не существующие в естественной Природе (резины, пластмассы и т.п.), *новые*

¹ Как измерить пустоту. И зачем. Юрий Павлович Ямпольский. «Химия и жизнь» №11, 2015. https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432943/Kak_izmerit_pustotu_I_zachem

² ПУСТОТА В КОСМОСЕ. Void in Space. 3/9/2015. <https://valivanch.livejournal.com/132776.html>

атомы, например, трансурановые элементы, давно распавшиеся во Вселенной. И даже новые элементарные частицы, не наблюдавшиеся в Природе, полученные на новейших ускорителях, например, бозон Хиггса. Живая материя синтезирует такие химические объекты, как молекулы ДНК и РНК, которые сами собой в Природе не появляются. Таким образом, нельзя сказать, что системы более высокого уровня просто состоят из элементов более низкого уровня. Нет, они находятся в гораздо более сложном взаимодействии.

4. Пустота в эволюции функций

4.1. Модель элементарной функции и элеполь.

Поскольку функциональная составляющая любых систем не менее важна, чем структурная, рассмотрим теперь какую роль играет «вакуум», «пустота» и паузы в эволюции функций. В ТРИЗ используются следующие модели функции [28] и [29]:

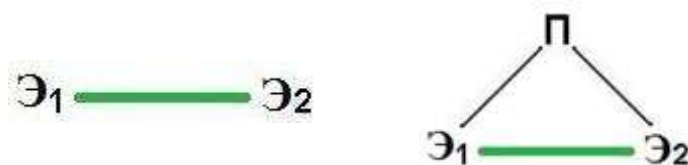


Рис.2. Модель элементарной функции: а) без поля взаимодействия; б) с полем взаимодействия (элеполь).

В этой модели функции Э1 – это носитель или субъект функции, Э2 – объект функции, который изменяется в результате выполнения функции, черта между ними – это действие, направленное на изменение Э2. Действие – это изменение, стабилизация, увеличение, уменьшение или измерение параметра объекта функции.

Более полной является модель функции в виде элеполя [29]. В этой модели кроме самой функции в модели указывается при помощи какого поля это действие достигается.

Эти модели функции в действительности необходимо называть элементарными, наипростейшими моделями функции, так как в действительности модель функции должна включать и многие другие составляющие, которые отличают функцию от свойств элементов. Понятно, например, что чаще всего функция не может выполняться без потока энергии, информации, обратной связи. В качестве основы для полной модели функции мы взяли модель функциональной системы, разработанную Анохиным П.К. в 1935 году [30].

На рис. 3 показаны варианты пустого элеполя – элеполя в котором в качестве Э1 или Э2 используется пустота или отсутствующее (постое) поле взаимодействия.

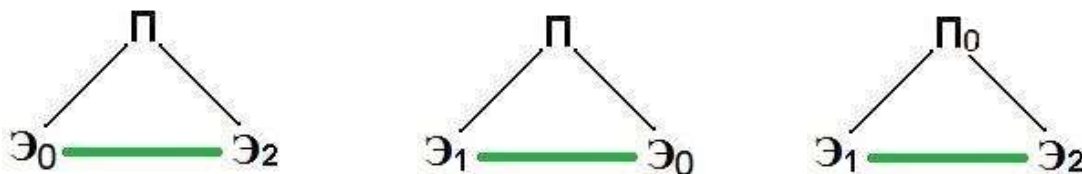


Рис.3. Пустой элеполь: а) элеполь в котором Э1 – пустота; б) Э2 – пустота; в) отсутствующее поле

Пример 1. Пустой элеполь с пустотой в качестве инструмента. Заявка на изобретение RU 98123340. Способ диспергирования материалов в условиях кавитации. В качестве инструмента Э1 используются пузырьки, возникающие при кавитации.

Пример 2. Пустой элеполь с пустотой в качестве изделия. Патент на изобретение RU 2703254. Способ формирования пустот в ионных кристаллах.

Пример 3. Пустой элеполь с отключаемым (пустым) магнитным полем. А.С. 290810. "Устройство для подачи ферромагнитных заготовок на рабочую позицию посредством закрепленного на корпусе постоянного магнита, отличающееся тем, что, с целью упрощения конструкции, оно снабжено магнитным экраном, вводимым в зазор,

образованный опорной площадкой для заготовок, выполненной на корпусе устройства, и полюсами постоянного магнита".

«Формулировка громоздкая, но устройство предельно простое (рис. 4). К полюсам постоянного магнита 1 приделана скоба 2 из немагнитного материала. В процессе транспортировки магнит удерживает шайбу 3, прижимая ее к нижней поверхности скобы. Над иглой или в любом другом месте, где надо сбросить шайбу, установлен неподвижный экран (пластина) 4 из магнитного материала. При движении переносчика экран входит в зазор 5 скобы и замыкает магнитный поток. Под действием силы тяжести шайба падает» [8]. В нужном месте магнитное поле отключается, и заготовка падает в необходимое место.

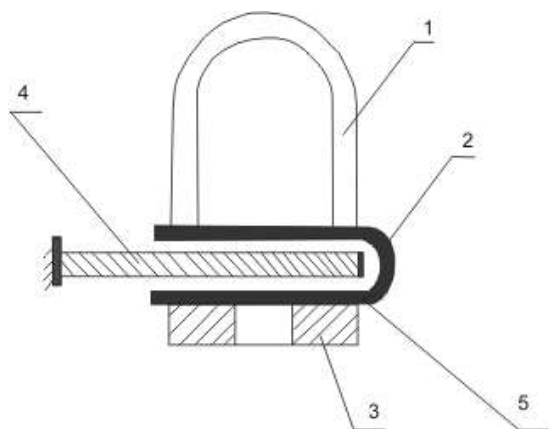


Рис. 4. Устройство по А.С. 290810

Пример 4. Пустой элеполь с отключаемым (пустым) электромагнитным полем. Патент RU 106 480. «Индуктор для нагрева мерных заготовок».

Индуктор для нагрева мерных заготовок, включающий индукционную катушку, подключенную к источнику питания, и футеровку, отличающийся тем, что индукционная катушка выполнена из полый медной трубки прямоугольного сечения, намотанной в два слоя, причем верхний слой индукционной катушки имеет, по меньшей мере, два **разрыва поля** намотки, расположенных симметрично от центра индуктора. Сделано это с целью обеспечения равномерного нагрева по всей длине. Особенно остро такая проблема стоит в случае, когда в одном индукторе необходимо нагревать заготовки различной длины и диаметра.

Пример 5. Пустой элеполь с отключением поля. Патент RU 2488940, «Устройство для гашения магнитного поля при отключении обмотки возбуждения синхронной машины от источника питания».

Пример 6. Элеполю с отключением электромагнитного поля и с использованием вакуума в качестве инертной среды. Патент RU 2496033, «Жаропрочная магнитная муфта». Жаропрочная магнитная муфта, заполняемая расплавленным металлом в которой ведомая полумуфта представляет собой магнитопровод, выполненный из металла с высокой температурой Кюри ТС, моторная камера выполнена вакуумируемой, причем вакуумный зазор между ведущей полумуфтой и герметизирующим экраном служит тепловым барьером, интегрированным в магнитную муфту.

Пример 7. Пауза как пустота во времени (в процессах). Обнаружение паузы. Патент RU 2436173, «Способ обнаружения пауз в речевых сигналах и устройство его реализующее».

Пример 8. Пауза, которая создается за счет пустоты в цилиндре с поршнем. Патент RU 2694077, «Дверной доводчик с паузой». Изобретение относится к устройствам для закрывания двери. Доводчик содержит пневмо- или гидроцилиндр с поршнем и штоком, обратный клапан в поршне, отличающийся тем, что поршень расположен в рабочем цилиндре с зазором, в одной из полостей рабочего цилиндра имеется герметичная полость, а в стенке рабочего цилиндра имеется прорезь длиной больше ширины поршня, или два отверстия, отстоящие друг от друга на величину, большую ширины поршня.

Таким образом, мы видим, что «пустой» (или отсутствующий) элемент или паузы могут эффективно выполнять вполне реальные функции.

4.2. Модель обобщенного принципа действия систем.

Рассмотрим подробнее явление эволюции функций и покажем, что роль «пустоты» при этом не уменьшается. Развитием модели элементарной функции является комплекс функций, объединенных в обобщенный принцип действия системы. В основу обобщенного принципа действия систем положена модель функциональной системы, разработанная Анохиным П.К. на основе анализа физиологических систем, но в дальнейшем он сделал обобщение до уровня общей теории функциональных систем [31]. В эту модель, например, входят такие понятия, как организм, целое, цель, мотивация, система, архитектура, узловые механизмы, анализ, молекулярный уровень, программа, действие, результат действия, параметры результата, обратная связь, принятие решения, возбуждение, торможение. Из этого перечня уже очевидно, что Анохиным П.К. описывал нечто гораздо более сложное, чем элементарные модели функций, описанные на рис. 2. Причина, по всей видимости, в том, что Анохин П.К. как физиолог, имел дело с организацией функций в системах гораздо более высокого уровня развития, чем системы, которые можно описать элементарными моделями функций. Но то же можно сказать, например, о кибернетических функциях, которые точно также имеют дело с целеполаганием, обратной связью, изменением программы достижения цели. Анохин П.К. проводил параллели между функциональными системами в физиологии и промышленными предприятиями. Функция, как часть системы, эволюционировала вместе с развитием самих этих систем и увеличением уровня их сложности.

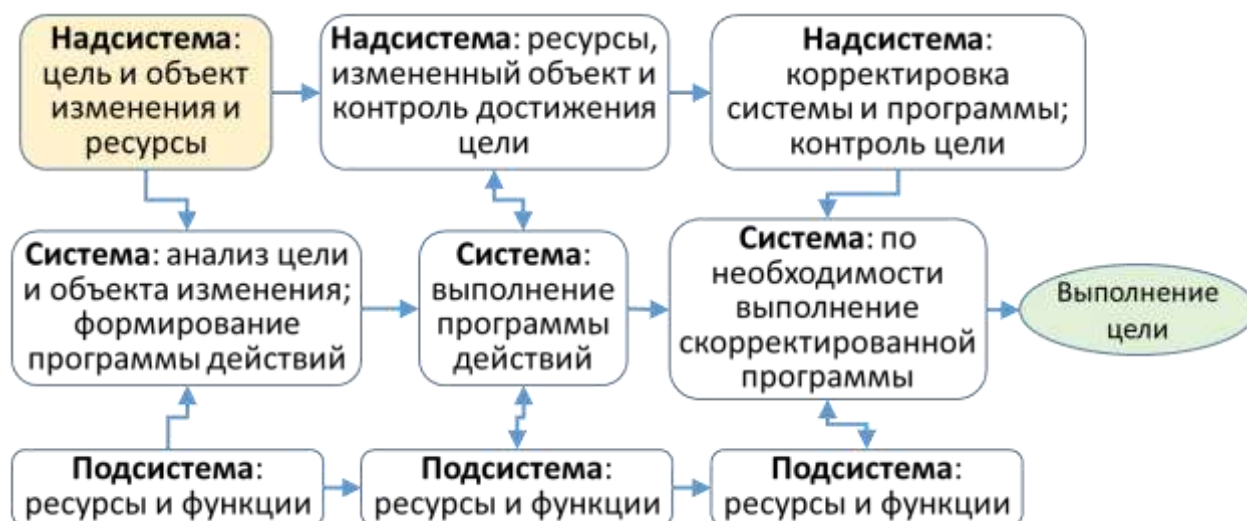


Рис.5. Модель обобщенного принципа действия систем

Задачи эволюционного системоведения делают необходимым описать модель обобщенного выполнения функции, которая бы охватывала все аспекты реализации функций для любых систем: физиологических, кибернетических, социальных, технических и т.д. Для того, чтобы не путать термин «функциональная система» с разной ее трактовкой в разных областях знаний, мы будем использовать термин «модель обобщенного принципа действия», имея ввиду набор взаимосвязанных функций, элементов на основе которых эти функции выполняются, последовательность включения и выключения этих функций (технологии и программы), обратную связь и т.д. На рис. 5 модель обобщенного принципа действия, которая включает в себя подходы Анохина П.К., кибернетические и технические подходы, методы функционального моделирования в ТРИЗ, системный оператор, развитие систем по циклу «анализ-синтез-оценка», использование энергетических, информационных и иных ресурсов подсистем и надсистем.

В модели обобщенного принципа действия систем (рис. 5) используются некоторые термины, которые требуют уточнения:

- Обобщенный принцип действия – комплекс систем, функций, технологий и программ, обеспечивающий достижение цели;
- Цель – комплекс требований от надсистемы к системе;

- Требование – элементарная функция (изменение параметров объекта функции), нефункциональное взаимодействие, или ограничение;
- Программа – последовательность действий, функций, технологий, возбуждений и торможений в системе;
- Контроль – сравнение цели с параметрами результата реализации программы и обратная связь с системой;
- Ресурсы (надсистем, системы и подсистем): материальные и нематериальные объекты, их структура и взаимодействия; информация; энергия.

Опишем порядок реализации требуемой функции в соответствии с моделью обобщенного принципа действия системы. Первый шаг – это формирование в Надсистеме цели (комплекса требований) и объекта, на которые эти цели направлены. Они передаются Системе, в которой происходит анализ объекта и возможности достижения поставленной цели, анализируются собственные ресурсы, ресурсы Надсистемы и Подсистем, формируется программа для достижения цели. Далее Система выполняет разработанную программу, привлекая ресурсы и возможности Надсистемы и Подсистемы. В Надсистеме изменяется объект, на который направлены изменения и происходит сравнение результата с целью (комплексом требований). Если цель достигнута, то функция выполнена, если нет, то происходит корректировка программы (технологии) или даже вносится изменение в саму Систему. Обновленная программа выполняется обновленной Системой и опять сравнивается результат с требованиями, либо корректируются сами требования. В результате этого процесса достигается поставленная цель: объект изменяется в соответствии с комплексом требований.

Эта обобщенная модель работает и для биологических систем, и для промышленных предприятий, и для социально-культурных и иных систем. Она справедлива и для системного онтогенеза (развития конкретной системы) и для системного филогенеза (исторического развития вида систем). Она описывает в том числе и адаптационные механизмы функционирования и развития систем, включая стресс, как адаптационный механизм функционирования систем.

Рассмотрим модель обобщенного принципа действия на примере производственной задачи: произвести алюминиевый профиль определенной конфигурации, в нужном объеме, требуемого качества и по определенной цене. Элементарная модель этой функции (рис. 3) формулируется следующим образом: пресс изменяет форму алюминия под действием механического поля. Очевидно, что такая модель очень поверхностно описывает процесс. Действительность намного сложнее. Модель обобщенного принципа действия для выполнения такой задачи можно описать следующим образом. В начале формируется техническое задание (набор требований) для производства профиля, формируется определенная программа действий для производства данного типа профилей. При этом могут быть задействованы подсистемы (подразделения и оборудование предприятия) и надсистемы – поставщики комплектующих и энергии, банки, внешняя логистика и др. Далее вся разработанная программа выполняется, контролируется процесс и результат ее реализации. Что-то скорее всего придется немного поправить в программе (например, скорость прессования, форму матрицы и др.) и мы получим нужный результат. Но бывает и иначе, ничего не получается. Тогда могут быть приняты более радикальные меры: создание каких-то дополнительных приспособлений для повышения качества прессования, перенос изготовления профиля на другой пресс с иными характеристиками или иные изменения технологического процесса. При этом очевидно, что будут возникать «функциональные паузы», необходимые для корректировки и изменения системы, подсистемы или надсистемы. Эти «паузы» (функциональные пустоты) являются неотъемлемой частью процесса функциональной эволюции системы.

Это было рассмотрение процесса в онтогенезе – конкретный заказ на конкретном предприятии. Но изменения могут быть и более радикальные – на уровне системного

филогенеза. Могут быть, например, спроектированы, созданы и введены в эксплуатацию новые конструкции прессов, которые намного лучше справляются с подобными заданиями. Аналогичные примеры можно привести и для любых иных систем: биологических, социально-культурных, финансовых, информационных и т.д. По мере эволюции всех этих систем одни функции передаются каким-то другим элементам системы, или надсистемы или подсистемы, от каких-то функций система отказывается, они становятся «пустыми», какие-то функции эволюционируют, претерпевая «функциональные паузы» (пустота по линии времени) и т.п. То есть роль системного вакуума, пауз, отсутствующих функций и элементов в процессе эволюции функций не уменьшается, а, скорее, возрастает по мере эволюции систем.

Пример 9. Нажатие пальцем на клавишу компьютерной клавиатуры. Рассмотрим этот процесс как функцию, выполняемую человеком. Можно, конечно, описать это действие элементарной функцией (рис. 2): палец перемещает клавишу с помощью механического поля (могут быть и другие варианты реализации, основанные на магнитных или электростатических полях). В любом случае модель элементарной функции не описывает в полном виде как именно в действительности выполняется это действие. Прежде всего, у человека должно быть какое-то целеполагание, мотив, чтобы нажать конкретную клавишу клавиатуры. Должен пройти сигнал от мозга к мышцам руки и пальца, чтобы началось и завершилось движение. Должен быть контроль со стороны зрения и корректировка движения (обратная связь). Причем контроль должен быть как за клавиатурой, так и за изображением на экране компьютера. Если что-то пошло не так, то программа действий изменяется: нужно удалить не верно напечатанное, нажать действительно нужную клавишу и т.д. Понятно, что этот комплекс функций и программ действий намного сложнее модели элементарной функции, которая сейчас используется в ТРИЗ. Функция выполняется не только пальцем, но и организмом человека в целом, не только человеком, но и при помощи надсистем: гравитация удерживает компьютер на столе, освещение помогает контролировать процесс, электричество обеспечивает энергией весь процесс.

Пример 10. Нажатие клавиши компьютерной клавиатуры. Рассмотрим этот процесс со стороны компьютера. Конечно, эту функцию можно смоделировать элементарным образом: клавиша изменяет проводимость конкретной электрической цепочки. В действительности все происходит намного сложнее³. В каждой клавиатуре есть свой микропроцессор, который обрабатывает каждое такое событие при помощи драйверов. В компьютер подается прерывание с информацией о том, что нажата какая-то клавиша, определяется что за символ в данном случае стоит за этой клавишей. Далее может быть реакция любого уровня сложности в зависимости от того, вводится ли в этот момент пароль, текст, поисковый запрос, функциональный символ или что-то другое. То есть в реализации функции опять же участвует не только конкретная клавиша или сочетание клавиш, но и весь компьютер и вся информационная сеть, с которой связан компьютер.

4.3. Общие закономерности эволюции функций в системах

Комплекс, описанный в модели обобщенного принципа действия систем (рис. 5), не появляется в эволюции Вселенной сразу и в полном объеме, он формируется постепенно вместе с эволюцией самих систем. То есть функция как явление, сопутствующее развитию систем, проходит развитие от систем без функций, систем с элементарными функциями к полнофункциональной системе со всеми составляющими обобщенного принципа действия систем. Этот комплекс формируется постепенно. Довольно условно можно выделить этапы формирования этого полного набора обобщенного принципа действия систем (см. табл. 2).

³ <https://poisk-ru.ru/s5009t7.html> ; <https://computerinfo.ru/printsip-raboty-klaviatury/>

Таблица 2. Этапы функционального развития систем

Этап развития	Логика развития	Примеры из биологии	Примеры из техники
1. Элементы и их свойства	Формирование ресурсов	Формирование физических и химических элементов (водород, углерод, кислород, азот).	Природные (земные) элементы и ресурсы
2. Самоорганизация систем, формирование новых структур и процессов	Формирование свойств, как потенциал появления функций	Формирование сложных, циклических и структурированных структур (углеводороды, аминокислоты, кристаллические структуры)	Использование природных элементов в качестве орудий труда, копирование явлений природы.
3. Минимальный набор функций системы	Появление функций как выполнение требований надсистем	Возникновение протобионтов: создание внутренней среды, обмен веществ и энергии, генетический код	Орудия труда, формирование элементарных функций. Простые механизмы (блок, винт, колесо, рычаг).
4. Развитие функций, формирование принципа действия. Зависимость от внешней среды.	Повышение идеальности за счет максимального использования внешней среды.	Одноклеточные организмы: размножение, перемещение, захват питательных веществ, раздражимость (датчики). Зависит от наличия жидкости, температуры, питательных веществ.	Создание механизмов с кинематикой: водяные часы, телега, лодки, корабли, технологии получения стали, бронзы.
5. Развитие адаптивных и автоматических механизмов. Свои источники энергии. Усложнение и автономность.	Повышение идеальности за счет качества и автономности выполнения функций.	Формирование реакций избегания неблагоприятных условий; стрессовые реакции организма; адаптация к источникам веществ и энергии.	Внешние источники энергии. Минимизация зависимости от внешней среды и надсистем. Золотник паровоза, хронометр, арифмометр. Мастерские, небольшие заводы и фабрики.
6. Информационная система и обратная связь	Повышение идеальности за счет автономности управления функциями	Впервые нервная система формируется у многоклеточных организмов, обладающих дифференциацией функций между клетками (кишечнополостные). Появилась возможность захвата пищевых ресурсов и активной защиты. Процессы возбуждения и торможения.	Почта. Вычислительные и автоматические устройства в машинах.
7. Формирование комплексов целей системы. Утилизация и вторичное использование систем.	Повышение идеальности за счет разветвления, многофункциональности и вторичного использования	Первая сигнальная система (формирование поведения на основе сигналов от сенсоров (датчиков). Постановка цели - разработка программы - реализация программы - отслеживание результата - корректировка программы и т.д. Согласованные действия разных организмов для достижения цели. Симбиоз и др.	Появление заводов с однородной отраслевой принадлежностью. Вычислительные машины и информационные системы. Вторичное использование систем.
8. Формирование программ и целей сразу на уровне многих систем.	Идеальность за счет формирования надсистем	Ритуальное поведение и формирование социальных связей животных. Социальная иерархия.	Заводы и промышленная кооперация разных отраслей.
9. Формирование надсистемы под нужды систем.	Идеальность за счет передачи функций в надсистемы	Вторая сигнальная система: использование орудий труда; приспособление внешней среды под свои потребности. Повторный цикл развития функций на уровне общества.	Информационные сети, сети источников энергии, промышленная, транспортная и финансовая инфраструктура.

Этапы развития функций и комплекса функций (принципа действия) в таблице 2 являются циклическими. В начале можно проследить последовательность развития функций в биологических системах от 1-го до 9-го этапа. На 9-м этапе происходит повторение этапов развития функций, но уже для технических, социальных, бизнес и других систем. Например, полнота частей машины из двигателя, трансмиссии, рабочего органа и органа управления соответствует примерно 5-му этапу в развитии функциональных систем. Можно говорить о повторении циклов филогенетического системогенеза на разных уровнях: на биологическом уровне, на социально-культурном, на техническом, политическом и любом другом уровне развития функциональных систем.

Из таблицы 2 видно, что в развитии принципа действия и, в частности, функций важное значение имеет стремление к повышению уровня функциональной идеальности систем. Применения пустот и пауз в этих системах для выполнения функций повышают их идеальность.

Понятно, что этапы эволюции обобщенной функции в системах соответствуют законам развития систем [11]: повышение эффективности захвата, переход в надсистему и др. В частности, приведенные в таблице 2 этапы развития обобщенного принципа действия (комплекса функций системы) являются детализацией четырех законов, связанных с формированием и развитием функций в системе:

- закон перехода от ресурсных к самоорганизующимся и к функциональным системам;
- закон стремления к идеальным функциональным системам;
- закон развития механизмов захвата от жестких к гибким, от постоянных к управляемым;
- закон сохранения структурной целостности и функциональной полноты систем.

Закономерности этапов развития функций в таблице 2 помогают прогнозировать следующие шаги в развитии тех или иных функциональных систем, например, формирование подсистем под нужды системы (киборгизация человека, биотехнологии, искусственный интеллект, саморазвивающиеся технические системы) и одновременно глубокое реформирование окружающей среды: создание нужного ландшафта, физического, химического и геологического состава, биологической среды.

Системный подход к функциональным системам Анохин П.К. сформулировал следующим образом: «Смысл системного подхода состоит именно в том, что элемент или компонент функционирования не должен пониматься как самостоятельное и независимое образование. Он должен пониматься как элемент, чьи оставшиеся степени свободы подчинены общему плану функционирования системы, направляемому получением полезного результата. Компонент должен быть органическим звеном в весьма обширной кооперации с другими компонентами системы» [31]. Анохин П.К. отмечает также, что главным системообразующим фактором для системогенеза является полезная функция.

В дополнение к постулатам Анохина П.К. в эволюционном системоведении принимается, что главным фактором системогенеза является стремление систем к увеличению эффективности захвата ресурсов, а функции выполняются не только на уровне системы в целом и ее подсистем, но и с активным участием надсистем.

4.4. Пустота в эволюции функций

Рассмотрим подробнее роль пустоты в процессе эволюции функций.

Примеры пустоты в элеполе (рис. 3), ее использование и устранение:

- пустота в качестве инструмента, использование пустоты (поплавок, лодка, строительный уровень, задача о разделении магнитов, пена в качестве крышки и изоляции, аэростат, пузырьки для изучения потоков, песочные часы, кавитация, пустоты в скульптурах и на картинах, матрешка, поиск пустот, заполнение пустот, устранение пустот и т.д.)

- пустота в качестве изделия (тепловая пушка для воздушного шара, электролиз, герметизация пустот, в заявке на изобретение RU 2015 143 846 применение неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей для железобетонных плит и т.д.).
- полевая пустота: (электрозаземление, электромагнитная защита, тепловая и звуковая изоляция, дезинфекция и др.).

Другие примеры, связанные с пустотой: пустота как источник энергии, пустота в энергонакопителях (гидроаккумулирующие устройства), образование пустот в эволюции живого (внутренняя полость гидры и любые другие полости, включая сердце, органы дыхания и пр.)

Пример саморегуляции с использованием пустоты – автопоилка. Саморегулирование за счет отключения полей, за счет формирования пустоты, за счет пауз в повышении/понижении температуры и др.

Пример 11. А.С. СССР №633689. Способ стыковой сварки оплавлением изделий замкнутой формы, преимущественно звеньев цепей, при котором в контуре звена аккумулируют упругие усилия и осуществляют предварительный подогрев с саморегулированием его длительности путем управления циклом замыкание- пауза, при котором в момент протекания импульса тока подогрева свариваемые торцы останавливают и снова приводят в соприкосновение после образования между свариваемыми торцами зазора (пустоты).

В общем случае в любой системе регулирования недостаток (отсутствие чего-либо, как крайняя степень недостатка) может служить инициатором регулирующего воздействия: системы поддержания определенного уровня жидкости или сыпучих материалов, пустота может служить регулирующим клапаном (пузырёк «пустоты» в трубке перекрывает ток жидкости, пузырьёк в жидком проводнике – служит прерывателем тока и т.п.)

Пример 12. Повышение независимости от внешней (экономико-политической) среды для выполнения функций (этап 5 функционального развития систем в табл. 2). Главный экономист и директор по инвестициям Saxo Bank Стин Якобсен прогнозирует, что в ближайшие месяцы (июль 2020 года) масштабный отказ от глобальных цепочек поставок товаров и услуг и переход к автаркии⁴ принесут с собой массовое возвращение производства из-за рубежа на родину и новые программы по локализации. В целом, будет процветать идея «национальной самодостаточности». В первую очередь это затронет производство медицинских товаров. Также «критически важными» будут объявлены энергетика, пищевые производства и высокие технологии. Рост издержек для локального производства при этом покажется менее существенным, чем политический императив независимости и самодостаточности⁵. В соответствии с этапами функционального прогнозирования функций в системах можно делать более дальний прогноз – формирование общемировой политической, экономической и производственной инфраструктуры, не затрагивающей, а помогающей самостоятельному развитию государственных образований.

Пример 13. Переходы от использования внешней среды для выполнения функций к формированию надсистемной инфраструктуры (этап 9 функционального развития систем в табл. 2). Например, вместо гонцов в России в 17 веке стала формироваться система почтовых станций со сменой лошадей или на «перекладных»⁶. В 21 веке на смену

⁴ Авта́ркия — система замкнутого воспроизводства сообщества, с минимальной зависимостью от обмена с внешней средой; экономический режим самообеспечения страны, в котором минимизируется внешний товарный оборот. [Википедия](#)

⁵ <https://www.gazeta.ru/business/2020/07/02/13138777.shtml>

⁶ <https://fb.ru/article/358760/pochtovaya-loshad-ee-rol-v-istorii-i-literature>

свободного распространения радиоволн в естественной среде пришла инфраструктура сотовой телефонии и Интернета. Другой пример. Компании, созданные как производители и поставщики поисковых систем (Google, Яндекс) по уже существующим источникам информации сами стали формировать информационную среду и инфраструктуру услуг, например, такси, доставка товаров и еды, навигатор для машин, организация дистанционного обучения, онлайн-платежи и многие другие инфраструктурные услуги.

4.5 Тренд динамизации в эволюции систем как тренд увеличения роли «пустоты»

Рассмотрим классический ряд динамизации системы: монолитный элемент – множество элементов (цепь) – гибкие элементы – жидкость – газ – поле. Нетрудно заметить, что в монолитном элементе «вакуума» нет вообще, в цепи – появляются «пустоты» между элементами, в гибких системах – пустоты внедрены в сам материал, жидкость также содержит намного больше «пустоты» чем монолитные твердые тела (она находится между слабо связанными молекулами жидкости), газ – содержит ещё больше «пустоты» между молекулами и, наконец, поле – практически является «сплошной пустотой», так как не содержит вещества вообще.

Пример 14. Пустота (системный вакуум) в элеполях может выступать как в качестве элемента, так и в качестве поля. Например, в элеполе, использованном для построения теории тяготения, физический вакуум был использован в качестве поля, связывающего источник тяготения и объект воздействия [12]. Но его также можно использовать как элемент, например, в элеполевой модели ртутного прерывателя тока.



Рис. 5. Ртутный прерыватель тока. Пустота вытесняет ртуть между контактами при определенном положении прерывателя и ток прекращается. Пустота является элементом.

Как в случае с ртутным прерывателем может помочь знание об уровнях системного вакуума? Очень просто: вакуум чего именно в данном случае нам нужно создать/переместить, чтобы прервать протекание тока? Нам нужен «электрический вакуум», т.е. любая среда, не содержащая носителей тока. Это может быть настоящий технический вакуум, это может быть просто воздух или, например, элегаз. И это может быть даже диэлектрическая жидкость (масло, спирт, дистиллированная вода). Как видим, понятие «системный вакуум» позволяет нам использовать множество различных материалов в качестве «вакуума» для данной системы. Все они могут иметь несколько разные свойства, полезные или вредные в том или ином конкретном случае, но, в любом случае, – наши возможности выбора сразу же резко возросли. Мы не ограничены теперь

настоящим вакуумом, который требует специальной техники для своего создания. Мы можем просто залить масло.

5. Системный вакуум, космология, время и эволюция.

Теперь от привычного «земного» масштаба рассмотрения вопросов пустоты, системного вакуума и функциональной эволюции попробуем коснуться более масштабных, космических систем, и затем попытаемся бросить взгляд и на эволюцию систем в целом. На космологическом уровне также действуют общесистемные законы и закономерности, которые мы осветили выше. Так, например, тоже работает простое правило: заполнить системный вакуум можно синтезом из нижележащего уровня, разложением вышележащего уровня, перемещением в другое пространство и время. Проиллюстрируем это. В работах Эйнштейна и Де Ситтера впервые были обоснованы космологические модели Вселенных, состоящих из одного вакуума (пространства без вещества) [26]. Более того, наша реальная Вселенная, которая, как полагают в современной космологии, расширяется – расширяется именно за счёт расширения «пространства», т.е. заполняющего её физического вакуума [27]. В настоящее время существуют космологические теории, прогнозирующие постепенное превращение всей материи Вселенной в физический вакуум, в «пустоту». В то же время хорошо известная Теория «Большого Взрыва» предполагает рождение всей Вселенной из физического вакуума, т.е. «пустоты». Таким образом, можно сделать заключение, что любой уровень развития материи может быть создан из соответствующего уровня системного вакуума и может быть возвращён в состояние системного вакуума, для этого требуются лишь время и определенные условия. Например, охлаждая горячую плазму (химический вакуум) мы можем создать стабильные химические элементы, т.е. появится химический уровень развития материи. Вновь нагревая эту материю, мы снова можем вернуть её в состояние «химического вакуума». Чем выше уровень развития материи, тем сложнее создать её из соответствующего уровня системного вакуума. Например, создать живое из химических элементов намного сложнее, чем убить всё живое и разложить на атомы (например, ядерным взрывом). Именно это общесистемное свойство, можно сказать, задаёт «стрелу времени», т.е. обеспечивает «однонаправленность» времени. Таким образом, эволюция, её направленность в сторону усложнения – общесистемное свойство, заставляющее нас воспринимать время, как нечто непрерывно текущее. Известно, что для древнего Китая было характерно другое восприятие времени – циклическое. Каждый раз после определенного цикла лет, время для них начиналось заново, «с нуля». Такому восприятию способствовал низкий темп развития социально технических систем и видимая цикличность Природы (день и ночь, времена года и т.п.). Даже сегодня представители «неконтактных племен» не могут назвать свой возраст, они просто не понимают в чём смысл подсчёта зим и лет. В наше время высоких темпов развития науки, техники, экономики, общества в целом – такое восприятие времени кажется странным. Тем не менее, оно эволюционно древнее нашего сегодняшнего восприятия.

Коль скоро мы установили, что время – это эволюция, то проследим теперь дальнюю эволюцию сложных систем. Линия эволюции обобщенного принципа действия говорит о том, что системы с целеполаганиями, функциями, обратной связью и самотиражированием могут возникать не только на основе белковой, но и на основе неорганической материи. Вселенная дает для этого огромные ресурсы. Это может происходить на первичном цикле формирования обобщенного принципа действия систем (формирование информационных систем во Вселенной без живой материи) или на вторичном цикле – в результате распространения технических устройств, способных создать во вселенной автономные системы саморазвития без живой материи. Скорее всего человечество вынуждено будет создавать такие системы для освоения других планет и осуществления космической экспансии, преобразования бескрайних просторов космического вакуума в среду,

пригодную для жизни. Не исключено, что извлекать ресурсы для этой грандиозной задачи нам придётся прямо из этого самого космического вакуума, поэтому изучение самого понятия «вакуум», его свойств и роли – лишь начало этой гигантской работы.

6. Заключение

Мы показали в данной работе, что понятие «пустоты», «вакуума» и «паузы» исторически активно использовавшееся в ТРИЗ в контексте технических систем, в настоящее время эволюционирует в гораздо более сложное и структурированное понятие «системного вакуума», играющего важную роль в системах вообще. Продемонстрирована роль системного вакуума в развитии функций, их роль в Законах развития технических систем, например, показана связь тренда динамизации с тенденцией нарастания роли вакуума в системах. Предложена расширенная модель функции – модель обобщенного принципа действия и этапы эволюции функций в системах. Показано также, что понятие вакуума, даже на самом верхнем, космологическом, уровне научного мышления играет всё возрастающую роль. Образно говоря, мы показываем, что «пустота пустоте рознь», что существуют определенные общесистемные закономерности для «пустоты», различные уровни её организации и даже выделяем свойства и законы системного вакуума. Это поможет исследователям, изобретателям, разработчикам инструментов ТРИЗ уже сегодня более точно, осознанно и эффективно использовать «пустоту», «системный вакуум» в повседневной деятельности. А в будущем будет способствовать невообразимому на сегодняшний день прогрессу.

Благодарим Рубину Н.В. и Щедрина Н.А. за оказанную помощь при подготовке статьи.

Литература

1. Альтшуллер Г.С. Как работать над изобретением. О теории изобретательства. В книге «Азбука рационализатора», Тамбов, книжное издательство, 1963 г., стр. 274-304.
2. Альтшуллер Г.С. Типовые приемы устранения технических противоречий, 1973. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altshuller.ru/triz/technique1.asp>
3. Альтшуллер Г.С. Материалы к теме "Типовые приемы устранения технических противоречий", 1973, [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altshuller.ru/triz/technique1a.asp>
4. Альтшуллер Г.С. 1981. АРИЗ-82-А, Примечание 5. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altshuller.ru/triz/ariz82a-2.asp>
5. Альтшуллер Г.С. АРИЗ — значит победа. Алгоритм решения изобретательских задач АРИЗ-85-В.- Правила игры без правил / Сост. А.Б.Селюцкий. - Петрозаводск: Карелия, 1989.-280 с. - (Техника - молодежь - творчество), с. 11-50. <https://www.altshuller.ru/triz/ariz85v-4.asp>
6. Альтшуллер Г.С., 1986. История развития АРИЗ (конспект). [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altshuller.ru/triz/ariz-about1.asp>
7. Альтшуллер Г.С. Стандартные решения изобретательских задач (76 стандартов). В сб. "Нить в лабиринте". - Петрозаводск: Карелия, 1988. - С. 165-230 <https://www.altshuller.ru/triz/standards.asp>
8. Альтшуллер Г.С., Верткин И.М., 1987, Линии увеличения "пустотности". [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altshuller.ru/triz/zrts5.asp>
9. Фей, В.Р. Хронокинематика технических систем. – Баку, 1988.

10. Рубин М.С. Этюды об эволюционном системоведении. Эволюциоведение. Саммит разработчиков ТРИЗ 2015. [Электронный ресурс]. – URL: <https://triz-summit.ru/confer/tds-2015/paper/science/300497/>
11. Рубин М.С., Мисюченко И.Л. Захват и инерция в развитии систем. Саммит разработчиков ТРИЗ 2016. [Электронный ресурс]. – URL: https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f2426_76/%D0%98%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%86%D0%B8%D1%8F-TDS-2016-%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F-5.pdf
12. Мисюченко И. Теория гравитации, ТРИЗ и эволюционное системоведение. Саммит разработчиков ТРИЗ 2017. [Электронный ресурс]. – URL: https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f2544_8c/%D0%9C%D0%B8%D1%81%D1%8E%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2%D1%8F%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-1.pdf
13. Василенко С.Л. Ноль как непревзойдённый архетип и ноумен, <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12565.html>
14. Павел Заруцкий. Немые стихи от Пушкина до Пригова. Краткий гид по молчанию и пустоте в российской и западной поэзии. «Литература исполняет ноль». [Электронный ресурс]. – URL: <https://knife.media/silent-poetry/>
15. Михаил Павловец «И все что образует пустоту»: деструкция словесной формы в поэзии Генриха Сапгира, https://www.nlobooks.ru/magazines/novoe_literaturnoe_obozrenie/153/article/20153/
16. Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0>
17. <https://science.wikia.org/ru/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC>
18. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%BB%D1%8C_\(%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%BB%D1%8C_(%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F))
19. Васильева Т. С. Химическая форма материи и закономерный мировой процесс. — Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1984. — 136 с.
20. Орлов В. В., Гриценко В. С. Проблема сложности в современной зарубежной философии, Журнал: Философия и общество. Выпуск №1(57)/2010. <https://www.socionauki.ru/journal/articles/132089/>
21. Мордкович В. Г. Сопряженность экологических сукцессий с катенной организацией пространства, ЖУРНАЛ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ, 2017, том 78, № 2, с. 32–46 http://eco.nsc.ru/docs/3_2017_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.pdf
22. Википедия. Звёздная эволюция. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F
23. Москалюк Т.А. Курс лекций по биогеоценологии. Лекция 11. Динамика биогеоценозов: флуктуации и сукцессии. [Электронный ресурс]. – URL: <http://botsad.ru/menu/activity/articles/moskalyuk-t/biogeocenologiya/lekcija-11/>
24. [Электронный ресурс]. – URL.: [Энциклопедия «Кругосвет». Пауза театральная. https://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/teatr_i_kino/PAUZA_TEATRALNAYA.html](https://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/teatr_i_kino/PAUZA_TEATRALNAYA.html)
25. Розенталь И., Чернин А. Вакуум – основная проблема фундаментальной физики. «Квант» №4 2002 г. <http://kvant.mccme.ru/pdf/2002/04/kv0402rozental.pdf>

26. А. Левин. Космология в момент рождения. [Электронный ресурс]. – URL: <https://trv-science.ru/2017/09/26/kosmologiya-v-moment-rozhdeniya/>
27. Популярная механика. Расширение Вселенной: как его открывали. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.popmech.ru/science/12687-kak-otkryvali-rasshirenie-vselennoy/>
28. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации. Герасимов В.М., Калиш, В.С., Карпунин М.Г., Кузьмин А.М., Литвин С.С. Москва МП Информ-ФСА, 1991 – 40 с.
29. Рубин М.С. Элеполюный анализ как развитие веполюного и функционального анализа в ТРИЗ. Сборник материалов конференции Саммита разработчиков ТРИЗ, 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <https://triz-summit.ru/confer/tds-2013/articles/>
30. Анохин П.К. Идеи и факты в разработке теории функциональных систем, 1973. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.keldysh.ru/pages/BioCyber/RT/Anokhin/Anokhin.htm>
31. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем, 1973. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.bio.bsu.by/phha/downloads/anohin_obscaia_teoria_fs.pdf