

Фейгенсон Олег Наумович

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Диссертационная работа для проведения сертификации по ТРИЗ на высший  
уровень (Мастер ТРИЗ)

Научный руководитель - Мастер ТРИЗ С.С.Литвин

Санкт-Петербург  
2010

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ ВВЕДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПИСАНИЯ ТС. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>11</b>
<b>3. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА. ADVANCED FUNCTION APPROACH .....</b>	<b>13</b>
3.1. Суть ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА .....	13
3.2. ФОРМАТ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ADVANCED FUNCTION APPROACH .....	15
3.3. АЛГОРИТМ ФОРМУЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КОМПОНЕНТА С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ.....	16
3.4. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ADVANCED FUNCTION APPROACH ДЛЯ АНАЛИЗА ТС.....	18
3.5. СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ДВУХ ОДИНАКОВЫХ СИСТЕМ. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ADVANCED FUNCTION APPROACH. ....	28
<b>4. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОДУКТА НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....</b>	<b>31</b>
<b>5. ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСОВ.....</b>	<b>36</b>
5.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ADVANCED FUNCTION APPROACH В СОЧЕТАНИИ С ИНСТРУМЕНТАМИ ТРИЗ-ФСА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕСУРСОВ .....	36
5.2. АЛГОРИТМ РЕСУРСНОГО АНАЛИЗА.....	37
5.3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РЕСУРСНОГО АНАЛИЗА.....	38
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>42</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>44</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Функциональный подход к анализу и решению задач получил самое широкое применение при выполнении инновационных проектов. Существуют детально проработанные процедуры выполнения функционального анализа Технической Системы (ТС), причем ТС может быть проанализирована и как устройство, и как процесс [1]. В настоящей работе сформулированы рекомендации по повышению практической ценности результатов функционального анализа за счет введения дополнительных параметров: «время выполнения функции» и «место выполнения функции». По сути, предлагается ввести в рассмотрение новый тип функциональных недостатков, связанных с несовпадением фактического места и/или времени выполнения функции с требуемым(и), что расширяет возможности применения функционального анализа для описания ТС и постановки неочевидных/нетривиальных задач, не выявляемых с помощью классического ТРИЗ-ФСА подхода. В отличие от общепринятого параметрического анализа, описывается не только несоответствие параметров объекта функции требованиям, но и конкретное место и время, когда это несоответствие происходит. Из приведенного описания видны противоречия, требующие разрешения в пространстве и противоречия, требующие разрешения во времени.

Кроме того, сформулированы рекомендации по выполнению функционального анализа технических систем на этапе эксплуатации. Выдвинуто предложение анализировать ТС, как процесс эксплуатации, с тщательным учетом надсистемных взаимодействий.

### **Актуальность темы исследования.**

Одним из важнейших направлений развития ТРИЗ на современном этапе является построение четкой логической цепочки от выявления актуальных задач до их эффективного решения.

Классическая ТРИЗ имеет в своем арсенале мощные инструменты для решения задач: стандарты, изобретательские приемы, методы разрешения противоречий, и пр. Инструменты для решения задач хорошо разработаны, надежны, проверены временем. Они составляют основу или являются существенной частью всех современных версий ТРИЗ: GEN3:Innovation Discipline (G3:ID) [2], IdeationTRIZ (ITRIZ) [3], eXtended TRIZ (xTRIZ) [4] и др. Все инструменты классической ТРИЗ включены последовательно в АРИЗ, совершенствованию которого посвящены усилия многих разработчиков ТРИЗ в настоящее время [5].

Методы анализа исходной ситуации и постановки "правильных" задач включают в себя причинно-следственный анализ, потоковый анализ и, как основу, функциональный анализ.

Необходимость разработки надежного метода, позволяющего анализировать ТС, выявлять и формулировать ключевые задачи<sup>1</sup> и пути их решения определяет актуальность данной работы.

---

<sup>1</sup> Ключевые задачи - задачи, решение которых позволяет достичь целей проекта.

Диссертационная работа выполнена в традициях Санкт-Петербургской (Ленинградской) школы ТРИЗ. К ним прежде всего относятся практическая направленность исследований, широкое использование функционального подхода, компактная формулировка методических рекомендаций.

### **Цели исследования.**

Главной целью данного исследования является разработка **Advanced Function Approach** - Усиленного Функционального Подхода, позволяющего выявлять "правильные" ключевые задачи, формулировать их в виде противоречий, использовать классические инструменты ТРИЗ для их разрешения.

Дополнительной целью исследования является повышение инструментальности известных ТРИЗ-ФСА подходов за счет использования пространственно-временных характеристик описания функции.

### **Объект исследования.**

В качестве объекта исследования выбран широко применяемый метод функционального анализа ТС. Рассмотрены основные этапы развития этого инструмента от разработок Lawrence D.Miles до методики ТРИЗ-ФСА, разработанной ленинградской школы ТРИЗ.

За основу принят наиболее формализованный, детально проработанный и широко применяемый на практике функциональный подход ТРИЗ-ФСА.

**Методологической основой** диссертации послужили научные работы В.М.Герасимова, Г.И.Иванова, С.С.Литвина, А.Л.Любомирского, В.М.Петрова, А.М.Пиняева, М.С.Рубина, Ю.И.Федосова, Н.Б.Фейгенсона, С.А.Яковенко.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

- Методические рекомендации по выполнению функционального анализа технических систем с учетом дополнительных параметров описания функции: «время выполнения функции» и «место выполнения функции».
- Методические рекомендации по применению **Advanced Function Approach** для анализа исходной задачи и постановки неочевидных задач.
- Методические рекомендации по применению **Advanced Function Approach** для выполнения анализа ресурсов.
- Рекомендации по выполнению функционального анализа технических систем на этапе эксплуатации.
- Примеры применения **Advanced Function Approach** для решения практических задач

### Научная новизна исследования.

- Разработана методика выполнения функционального анализа ТС, отличающаяся тем, что при рассмотрении конкретной функции описывается не только несоответствие параметров объекта и носителя функции требованиям, но и конкретное место и время, когда это несоответствие происходит.
- Предложен новый тип функциональных недостатков, связанных с несовпадением фактического места и/или времени выполнения функции с требуемым(и). Разработаны рекомендации по выявлению таких недостатков при выполнении функционального анализа ТС.
- Предложен методический подход, позволяющий объективно формулировать противоречия, требующие разрешения в пространстве и противоречия, требующие разрешения во времени. Противоречия видны из предложенного формата выполнения функционального анализа.
- Разработана методика выполнения ресурсного анализа, основанная на функциональном подходе **Advanced Function Approach**. В отличие от существующих методик, предлагаемый подход позволяет избежать трудоемкого перебора всех имеющихся ресурсов системы и надсистемы, потенциально пригодных для решения конкретной задачи. Вместо этого, формулируется функциональный запрос на необходимый ресурс, после чего он может быть без труда обнаружен.
- Предложено анализировать ТС на этапе эксплуатации, как процесс эксплуатации с учетом всех надсистемных взаимодействий. Сформулированы практические рекомендации по выполнению такого функционального анализа.

### Практическая значимость исследования.

Разработан усиленный вариант функционального анализа: **Advanced Function Approach**, готовый к применению в инновационных проектах. Благодаря глубокому уровню проработки, предложенный подход может быть включен в учебные материалы для преподавания ТРИЗ инженерам.

**Advanced Function Approach** делает процедуру анализа ТС более конкретной и фокусированной на формулировании адекватных задач, решение которых гарантирует достижение целей проекта. Задачи формулируются в виде противоречий, требующих разрешения во времени или пространстве, что облегчает применение "решательных" инструментов ТРИЗ.

Кроме того, на основе разработанного **Advanced Function Approach** могут быть усовершенствованы такие инструменты ТРИЗ и ФСА, как Поточный Анализ, Перенос Свойств (Feature Transfer), Функционально-Ориентированный Поиск, АРИЗ.

### Личный вклад соискателя.

Постановка задачи исследования, обзор подходов к анализу ТС, разработка методических рекомендаций по проведению функционального анализа с учетом введения параметров место и время выполнения функции, разработка ресурсного

анализа, основанного на **Advanced Function Approach** являются личным вкладом соискателя.

### **Апробация работы.**

Основные положения диссертационной работы докладывались на международных конференциях, проводимых европейской ассоциацией ТРИЗ TRIZFuture 2007 и TRIZFuture 2008; на Международных конференциях, проводимых МАТРИЗ ТРИЗфест-2007 в Москве и ТРИЗфест-2009 в Санкт-Петербурге.

Предлагаемый в диссертации подход, заложенный в основу **Advanced Function Approach**, применялся автором при выполнении консультационных проектов в компании "Алгоритм"/GEN3 Partners, а также при решении практических задач слушателей семинаров G3:ID в таких компаниях, как General Electric и Wrigley.

### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации - 45 страниц, работа содержит 16 рисунков и 5 таблиц.

### **Перечень работ опубликованных по теме диссертации**

1. O.Feygenson, M.Urusova. Function Approach for Resource Analysis. Proceedings of European Conference TRIZ-Future 2008 "Synthesis of Innovation". Enschede, The Netherlands. November 5-7, 2008.
2. O.Feygenson. Function oriented resource analysis. Сборник трудов международной конференции TRIZ – Fest 2009, Санкт-Петербург, 2009
3. Хоренян Р.Г., Фейгенсон О.Н.. О практических приемах определения главных функциональных параметров значимости продукта . Сборник трудов международной конференции TRIZ – Fest 2007, Москва, 2007. Размещено на web-site <http://www.metodolog.ru/01151/01151.html> (последний просмотр 20.05.2010б 16:54:00).
4. M.Ksenofontova, O.Feygenson. Innovative improvement of consumer products. Proceedings of European Conference TRIZ-Future 2007. Frankfurt, Germany. November 6-8, 2007.
5. Ксенофонтова М.М., Фейгенсон О.Н.. Выбор технических параметров для синтеза новых потребительских товаров. Сборник трудов международной конференции TRIZ – Fest 2007, Москва, 2007. Размещено на web-site <http://www.metodolog.ru/01152/01152.html> (последний просмотр 20.05.2010, 16:57:00).
6. Фейгенсон О.Н. Разбор задачи по АРИЗ-85-В. Испарение тугоплавких керамических штапиков в лазерном пучке. Опубликовано на web-site <http://www.metodolog.ru/01509/01509.html> 10.10.2008 (последний просмотр 20.05.2010б 16:50:00)
7. Advanced Function Approach. S.Litvin, N.Feygenson, O.Feygenson. European Conference TRIZ-Future 2010 (в печати)

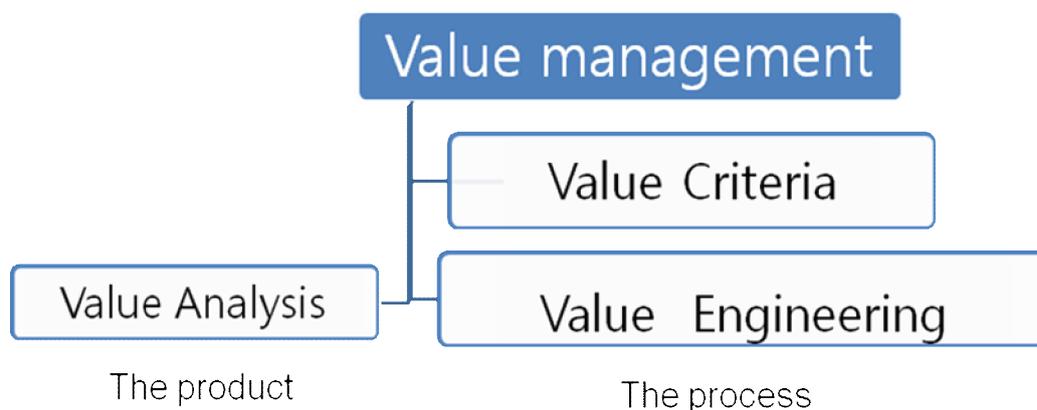
# 1. ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ ВВЕДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА

С целью выявления и обоснования следующих шагов в усовершенствовании функционального подхода, рассмотрим историю и эволюцию его применения для анализа технических систем. В первую очередь, нас интересует тенденция повышения инструментальности подхода. Разумеется, такое обоснование не является исчерпывающим и не подменяет результатов практического опробования. Роль описанного ниже исследования – показать преемственность выдвигаемых в диссертационной работе предложений по отношению к ранее проведенным работам, объективно выделить вносимые элементы новизны.

Общепризнанным пионером применения функционального подхода является Lawrence D.Miles. Источником возникновения методики послужила возникшая в компании General Electric во время второй мировой войны необходимость применения более дешевых материалов для изготовления продукции военного назначения. L. D.Miles разработал и применил процедуру, названную им *Value Analyses*. Когда в 1945 году военно-морской флот США (точнее - US Navy's Bureau of Ships) и министерство обороны начали использовать разработки Л.Майлса, им присвоили наименование *Value Engineering*. L. D.Miles разделил функции ("what it must do") от их конкретного конструктивного воплощения ("how it does it"). «функция – это конечный результат, ожидаемый потребителем, это то за что он платит. Это цель, а не действие. Но это результат действий» [6, стр. 35]. Тем не менее, описание функций производилось по схеме «глагол - существительное». Требования к формулированию функций сводились к требованиям использовать активный глагол и измеряемое существительное, дополнительно приводились примеры удачных формулировок. Сами по себе функции технических систем по сути только описывались так, как они есть или как они проектировались. Критерий оценки выполнения функций ( $value=function/cost$ ) носил сугубо экономический характер. Поскольку цена, стоимость технических систем носит аддитивный характер, непременным условием полноты стоимостного анализа было включение в его состав всех его компонентов и выполняемых ими функций. Другое важнейшее свойство функционального анализа – способность выступать в роли междисциплинарного языка общения проектной команды – было также отмечено и широко использовалось при внедрении.

Основным ограничением подхода Л. Майлса следует признать его фокусированность только на одной, хотя и чрезвычайно важной, группе стоимостных параметров оценки технических систем. Характерно, что в финальной версии компонентного состава *Value Management* [6] функциональный анализ даже не включен (см. Figure 1).

## The methodology



**Figure 1. Компоненты Value Management**

Следующий крупный шаг в развитии функционального анализа – разработанный Charles W. Bytheway в 1965 году Function Analyses System Technique (FAST). Сущность этого методического подхода сводилась к расширению применения функционального анализа для описания сложных систем. Это достигалось графическим представлением связанных функций. В процессе установления связей использовались вопросы: «как?» - ответ на него означал описание метода выполнения функции; и «почему?» - ответ на него показывал цель выполнения функции. [7,8]

Еще одним направлением в развитии функционального подхода для анализа и усовершенствования технических систем является технология развертывания(структурирования) функций качества - QFD (Quality Function Deployment). Эта методология создана в 1965—1967 гг. в компании Matsushita Electric господином Yoji Akaо [9]. По своей сути, эта технология проектирования изделий и процессов, позволяющая преобразовывать пожелания потребителя в технические требования к изделиям и параметрам процессов их производств. В основе методики лежит введение в рассмотрение множества параметров и установление связей между ними. Перечень вводимых параметров практически ничем не ограничен – начиная от неотчетливо сформулированных пожеланий потребителя ("фактическими показателями качества") и продолжая ("вспомогательными показателями качества"). Такое широкое, применяемое в определенной последовательности использование параметров обеспечило успешное распространение методологии QFD во многих странах и отраслях промышленности.

В методическом отношении QFD скорее хорошо формализована, чем обеспечена инструментарием анализа. Связь между параметрами устанавливается экспертным методом, без специальной процедуры анализа.

Таким образом, результативность QFD ограничена произвольным употреблением понятия функция и зависит прежде всего от квалификации и результативности согласованной работы привлекаемых экспертов.

В СССР основы функционально - стоимостного анализа заложены в конце 40-х годов в работах инженера-конструктора Пермского телефонного завода Ю.М. Соболева.

"Ю.М. Соболев пришел к выводу о необходимости системного экономического анализа машин и поэлементной отработки конструкции каждого узла, каждой детали. По его мнению, анализ детали должен начинаться с выделения всех конструктивных элементов, характеризующих деталь, а именно: материала, размеров, допусков, резьбы, отверстий, параметров шероховатости поверхностей и т.д." [10]

Следует отметить, что в основе разработок Ю.М.Соболева лежат скорее структурно-компонентный и стоимостной подходы, чем функциональный.

Применительно к анализу технических систем функциональный анализ разрабатывался ленинградской школой ТРИЗ в содружестве со специалистами по ФСА Минэлектротехпрома. Результаты суммированы в методических рекомендациях [1].

Основные усовершенствования функционального подхода, сводились к следующим моментам:

- Введено четкое инструментальное определение функции: "Функция — проявление свойств материального объекта, заключающееся в его действии (воздействии или противодействии) на изменение состояния других материальных объектов".
- Введена триада для описания функций «носитель функции – собственно функция (действие) – объект функции».
- Разработаны правила и алгоритм формулирования функций, позволяющие более точно их формулировать.
- Введен параметрический анализ для оценки уровня выполнения функций. "Уровень выполнения функции — качество ее реализации, характеризующееся значением параметров носителя функции".
- Введены понятия: вредная функция и нейтральная функция.

Вышеуказанные усовершенствования легли в основу таких инструментов, как: Функционально-идеальный синтез (свертывание), Объединение Альтернативных Систем, Анализ Сверхэффектов, Функционально Ориентированный поиск.

Проведенный анализ эволюции функционального подхода позволяет определить следующие тенденции:

- Ключевая идея функционального описания систем содержала количественный параметр (value). Это обеспечило жизнеспособность методики анализа.
- Введение разработанной Charles W. Bytheway техники FAST диаграмм позволило на качественном уровне – то есть с точностью до указания последовательности выполнения действий - описать сложные системы.
- Введение В.М. Герасимовым и С.С.Литвиным параметра для оценки уровня выполнения функции позволило во многих случаях более отчетливо разделить понятия собственно действия и результата действия. Более того, содержащиеся

в [1] рекомендация использовать для более точного описания функционирования дополнительную информацию о месте/времени выполнения функции то же по существу подразумевает в неявном виде введение дополнительных параметров.

Итак, налицо тенденция повышения инструментальности функционального подхода за счет введения параметров описания функций.

Известна рекомендация А.Л.Любомирского о том, что "качество выполнения функции может быть оценено по другим критериям, связанным с предъявляемыми к выполнению функции требованиями. В этом случае также оценивается, насколько фактическое значение критерия совпадает с интервалом требуемых значений." [11]

Представляется, что совершенно естественным продолжением линии детализации описания функционального взаимодействия будет введение неких обязательных характеристик выполнения функции.

В.М.Петров, в своей работе [12] показывает закономерности развития функций. В том числе, автор описывает "Закон динамизации функций" и "Закон согласования функций". Важно отметить, что для практического использования упомянутых законов необходимо позиционировать функции ТС в пространстве и во времени.

В данной диссертационной работе предлагается ввести в описание функции место и время её выполнения. Другими словами, предлагается учитывать не только изменение параметров объекта и носителя функций для оценки уровня ее выполнения, но и характеризовать само действие.

Результаты такого более подробного описания могут быть использованы для легкого и наглядного диагностирования нескольких видов "проблемных зон" технической системы. В отличие от ранее проводившегося параметрического анализа описывается не только несоответствие параметров требованиям, но и конкретное место и время этого несоответствия. По сути, вводится в рассмотрение новый тип функциональных недостатков, открывающий новые возможности для анализа ТС.

## 2. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПИСАНИЯ ТС. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

В своей работе [13] А.М.Пиняев отмечает: "Функция тем сильна, что содержит максимум информации при минимуме словесного объема.... Формулирование функций по правилам требует интеллектуальных усилий, но хорошо оплачивает эти усилия, вовремя выявляя важную информацию о технической системе (ТС) и, в итоге, облегчая и упрощая весь изобретательский процесс".

Как отмечает Ю.И.Федосов: "Наиболее трудоемкой и субъективированной процедурой при построении функциональной модели ТС является формулирование функций. Эта процедура достаточно четко и внятно прописана в методике и при ознакомлении не вызывает никаких вопросов. Но на практике пользователи методики буквально при первой же попытке сталкиваются с существенными проблемами по правильному (не говоря о безупречном) формулированию функций." [14]. Для упрощения / формализации процедуры формулирования функций Ю.И.Федосов предлагает составить перечень "правильных" функций и признаков, по которым они используются в функциональной модели. Такой перечень может быть назван Справочником "элементарных функций". Большое внимание в указанной работе уделяется статистическому анализу глаголов, используемых для описания действия.

Очевидно, что увеличение точности описания технической системы за счет точного выбора глагольной части функции имеет свои пределы, связанные с неточностью словесного описания. В качестве иллюстрации приведем пример неоднозначности глагольного описания даже простейших действий. По мнению филолога В.Даля, семечки можно: лускать, лузгать, лущить, шелушить, вылущать, чистить, грызть, щелкать, вылуплять, выковыривать, сымать с них кожуру, облупливать, лопать, лустить, лущинить, лустерить, щелкотить и жущерить. С практической точки зрения, необходимая точность определяется условием выбора глагола, достаточно хорошо понятного членам рабочей группы, выполняющей функциональный анализ. Как правило, выбирается наиболее обобщенный глагол. Важно четко понимать, какой параметр объекта функции изменяется в результате ее выполнения

Обсудим, какие методические особенности вносит применение понятия «параметр» при анализе и описании технических систем.

В работе [15] М.С.Рубин убедительно продемонстрировал, как понятие "параметр" может быть использовано в качестве объединяющего, системообразующего понятия при анализе проблемных ситуаций и поиске решения изобретательских задач.

Согласно [1], «параметр - квалиметрическая характеристика свойства».

Согласно энциклопедии [16]:

"ПАРАМЕТР (в технике), величина, характеризующая какое-либо свойство процесса, явления или системы, машины, прибора (напр., электрическое сопротивление,

теплоемкость, быстродействие, масса, коэффициент трения и др.). Параметры могут быть сосредоточенными (напр., емкость электрического конденсатора, масса подвешенного к балке груза) и распределенными в пространстве (напр., индуктивность линии электропередачи)".

*Следует отметить, что уже в этом словарном определении для параметра существенным является его распределение в пространстве. Заметим также, что если мы изучаем динамику какого-либо процесса, то мы обязательно, по определению указываем зависимость параметра от времени.*

Рассмотрим на простом примере, как используются параметры, при формулировании функции и определении уровня ее выполнения.

- ТС - автомобиль,
- Главная функция ТС - перемещать пассажиров/груз.
- Объекты главной функции - пассажиры и груз.
- Параметр объектов функции, изменяющийся в результате выполнения функции - положение в пространстве.
- Параметры функции, по которым оценивается уровень ее выполнения - скорость перемещения; масса перевозимого груза / количество перевозимых пассажиров. Несложно заметить, что указанные параметры, напрямую связаны с характеристиками носителя функции, т.е. автомобиля - скорость, грузоподъемность / "пассажировместимость".

Таким образом, при формулировании функций принимаются во внимание параметры объекта и субъекта функции. Само действие (глагольная часть функции) не оценивается параметрически.

Поскольку всякое действие происходит в пространстве и времени, то параметры "место выполнения функции" и "время выполнения функции" могут являться теми универсальными параметрами, пригодными для описания любого действия.

Итак, в данной главе обозначен путь повышения точности описания ТС при выполнении функционального анализа. Выдвинуто предположение, что характеристика действия является не менее важным этапом в формулировании функции, чем выбор глагола для описания этого действия. В последующих главах показано, какие практические результаты могут быть получены при анализе реальных ТС с применением пространственно-временных характеристик выполнения функций.

### 3. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА. ADVANCED FUNCTION APPROACH

*"В гидрометеоцентре никогда не ошибаются  
в прогнозе погоды.  
Они лишь путают место и время."  
Анекдот*

#### 3.1. Суть предлагаемого подхода

Что предлагается:

1. Ввести в функциональное описание Технических Систем пространственно-временные характеристики функций: "место выполнения функции", "время выполнения функции".
2. Совместить достоинства двух типов функционального анализа ТС:
  - Функциональный анализ ТС, как технологического процесса - дает четкое представление о последовательности выполнения функций.
  - Функциональный анализ ТС, как конструкции - дает представление о взаиморасположении и взаимодействии компонентов ТС и ее надсистемы.
3. Выделить новый тип функциональных недостатков при функциональном моделировании, связанных с несоответствием фактического места и времени выполнения функции с требуемым.

Для чего нужны пространственно-временные характеристики при функциональном описании ТС:

1. Для выявления недостатков ТС, не обнаруживаемых с помощью классического функционального подхода.
2. Для объективного формулирования противоречий, требующих разрешения в пространстве и противоречий, требующих разрешения во времени.
3. Для упрощения процедуры поиска ресурсов при решении задач.

Основные преимущества предлагаемого Advanced Function Approach перед классическим ТРИЗ-ФСА подходом суммированы в Table 1.

**Table 1 Сравнение классического функционального подхода и предлагаемого Advanced Function Approach.**

<p style="text-align: center;"><i>Подход</i></p> <p><i>Критерий сравнения</i></p>	<p>Классический ТРИЗ-ФСА подход</p>	<p>Advanced Function Approach</p>
<p><b>Типы функциональных недостатков</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• наличие вредных функций,</li> <li>• недостаточный или избыточный уровень выполнения полезных функции,</li> <li>• наличие функций низкого ранга.</li> <li>• малое количество полезных функций у одного элемента,</li> <li>• дублирование (полное или частичное) выполнения функции несколькими элементами (одинаковыми, однородными, различными),</li> </ul> <p><i>Комментарий: на практике во многих случаях ограничиваются рассмотрением недостатков двух первых типов</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кроме того, ТРИЗ-ФСА выделяет недостатки, связанные с высокой стоимостью компонентов ТС</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ВСЕ ТЕ ЖЕ ТИПЫ НЕДОСТАТКОВ, что и в классическом подходе,</li> <li>• выполнение функции не в том месте, в котором требуется,</li> <li>• выполнение функции не вовремя,</li> <li>• отсутствие у компонентов ТС функции, необходимой для эффективной работы системы.</li> </ul>
<p><b>Характеристики / параметры вредных функций</b></p>	<p>Оценка вредной функции не выполняется.</p> <p>Факт наличия вредной функции является недостатком.</p>	<p>Предлагается применять пространственно-временные характеристики и для вредных функций тоже</p> <p><i>Комментарий: несложно показать в какие конкретные моменты времени и в каком месте вредные функции проявляют себя. Соответственно, недостатки ТС могут быть сформулированы гораздо более конкретно.</i></p>
<p><b>Основные результаты функционального моделирования</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• функциональная модель ТС,</li> </ul> <p><i>Комментарий: при выполнении консультационных проектов помимо выявления функциональных недостатков ТС, функциональное моделирование позволяет исполнителям проекта быстрее и глубже разобраться в деталях работы системы и согласовать свое понимание с заказчиком</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• функциональные недостатки ТС,</li> <li>• варианты свертывания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ВСЕ ТЕ ЖЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, что и в классическом подходе</li> </ul> <p><i>Комментарий: следует помнить, что введен в рассмотрение новый тип пространственно-временных функциональных недостатков</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• хронограмма функций</li> </ul> <p><i>Комментарий: это основа для выявления недостатков и ресурсов во времени</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• «карта» функций - схема взаиморасположение функций</li> </ul> <p><i>Комментарий: это основа для выявления недостатков и ресурсов в пространстве</i></p>

## 3.2. ФОРМАТ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ADVANCED FUNCTION APPROACH

### Табличная форма

Time	Function			Type and level of performance	Allocation	Comments
	Function Carrier	Action	Object of Function			
t10	Noun <i>Substance or field</i>	Verb	Noun <i>Substance or field</i>	H or U (if U, then could be marked I or E)	E.g., on the surface	
t20	Noun <i>Substance or field</i>	Verb	Noun <i>Substance or field</i>	H or U (if U, then could be marked I or E)	E.g., under the top layer	

**Для учета времени выполнения функции, предлагается добавить в функциональную таблицу столбец, в котором указывается время в следующем формате t10, t20, t30.**  
 Такая система нумерации строк использовалась в первых языках программирования: строки нумеровались десятками для того, чтобы программист мог легко добавить дополнительные строки между существующими. В случае построения функциональной таблицы ситуация похожа - функции формулируются и добавляются по мере того, как растет понимание системы.

**Для учета места выполнения функции, предлагается:**  
 Составить графическую схему взаиморасположения компонентов ТС, тогда место выполнения функции может быть определено по месту расположения ее объекта в рассматриваемой системе

### Графическая форма

Для простых ТС, содержащих небольшое количество компонентов (до 15 включительно), функциональная модель в графическом виде может быть выполнена, как показано на Figure 2.

Для сложных ТС, содержащих большое количество компонентов (больше 15), такая форма представления может оказаться непрактичной ввиду сложности расположения компонентов и их функций в системе координат. Поэтому при анализе таких систем рекомендуется не использовать оси, а время и место

выполнения функции указывать в скобках справа от наименования действия, как показано на Figure 3

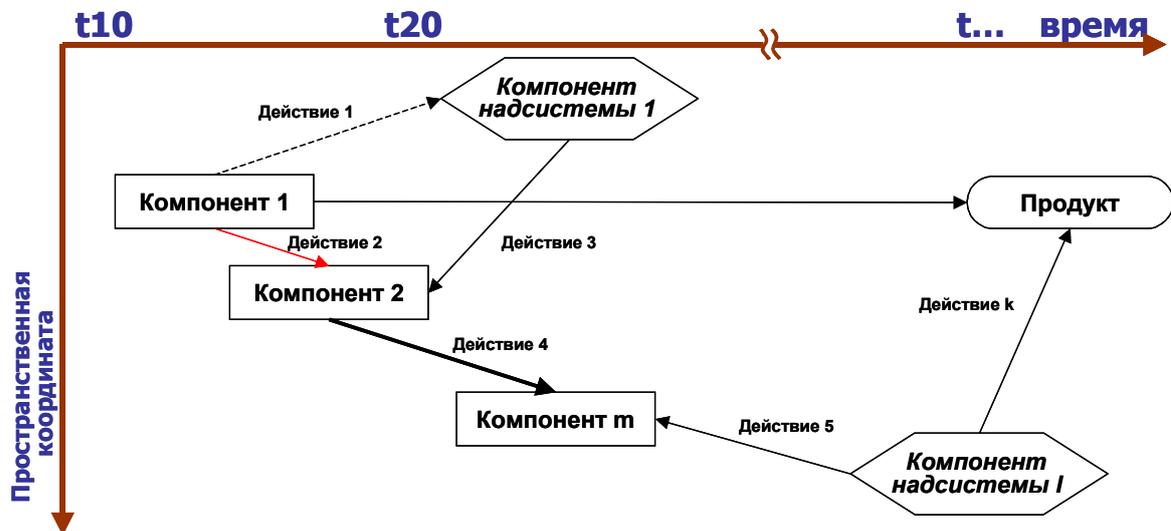


Figure 2 Вариант представления функциональной модели простых ТС

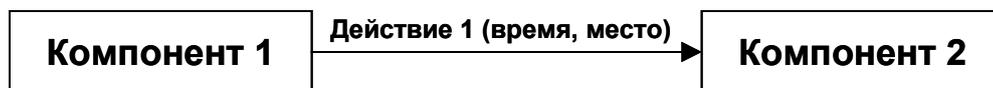


Figure 3 Вариант учета времени и места выполнения функции при анализе сложных систем.

### 3.3. АЛГОРИТМ ФОРМУЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КОМПОНЕНТА С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ

В соответствии с методическими рекомендациями [1]: "формулирование полезной функции объекта целесообразно проводить в определенной последовательности:

- 1) предложить первоначальную формулировку функции объекта, которая представляется правильной;
- 2) проверить возможность самостоятельного выполнения объектом сформулированной функции (критерием подтверждения такой возможности является наличие в объекте хотя бы одного элемента, участвующего в выполнении функции);

- 3) дать уточненную формулировку функции, используя вопросы: «зачем выполняется эта функция?» (если элемент по п. 2 выявлен); «каким образом выполняется эта функция?» (если такой элемент не выявлен).

Если предварительная формулировка окажется неточной, процедуры по п. 2 и 3 повторяются до нахождения уточненной формулировки, которая отразит наличие в анализируемом объекте хотя бы одного элемента, выполняющего эту функцию."

Предлагается к указанной выше последовательности добавить шаги, следующие после уточнения формулировки функции:

- 4) указать место выполнения функции;

Необходимо предельно четко формулировать место выполнения функции, поскольку одна и та же функция может иметь существенно разный уровень выполнения в разных местах/зонах анализируемой системы.

- 5) указать время выполнения функции;

Если после определения места и времени формулировка функции окажется неточной, повторить процедуру начиная с п.2.

По сути, изложенная выше последовательность действий представляет собой алгоритм формулирования функции. Такой алгоритм может быть показан с помощью блок-схемы [17] (см. Figure 2).

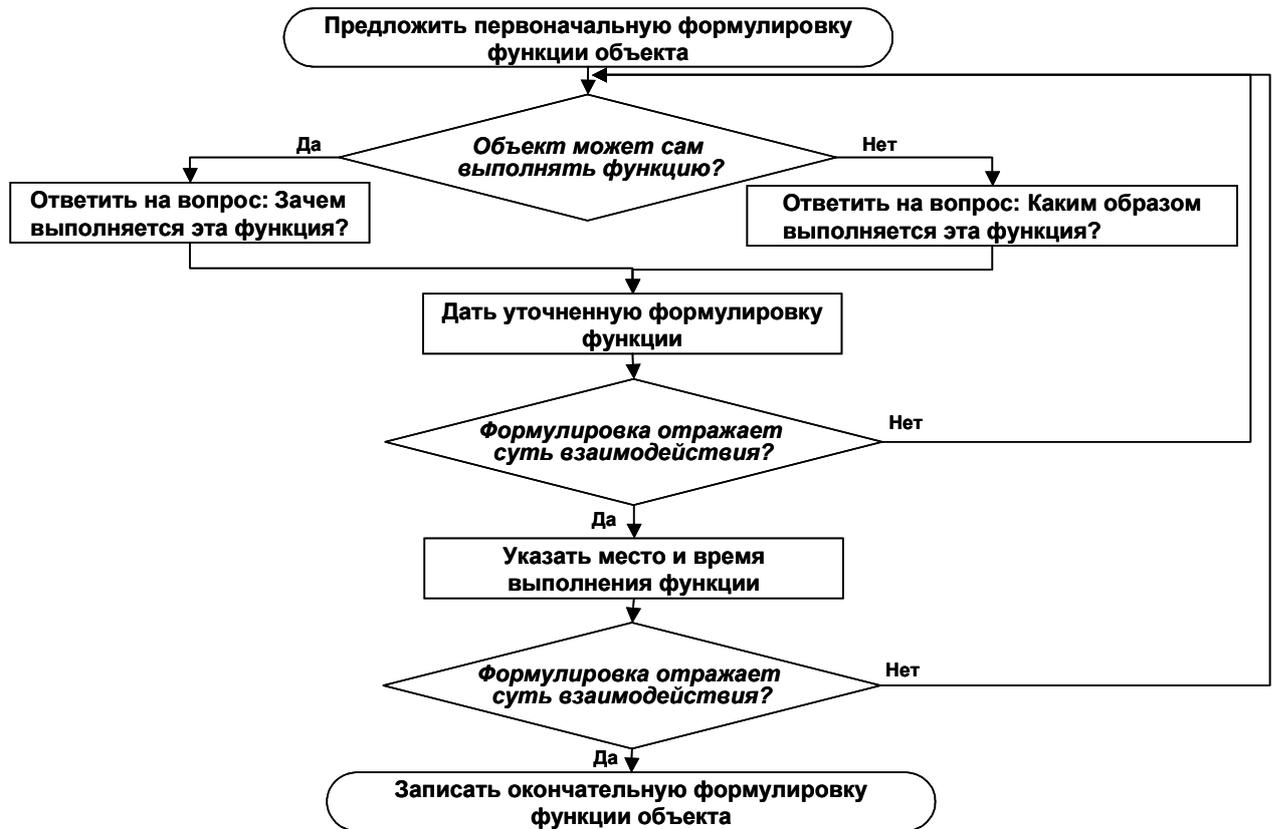


Figure 4 Блок-схема алгоритма формулирования полезной функции объекта

### 3.4. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ADVANCED FUNCTION APPROACH ДЛЯ АНАЛИЗА ТС

Ниже представлены три примера выполнения функционального анализа ТС с применением Advanced Function Approach.

Причем, первый пример представлен достаточно подробно с целью сравнения классического ТРИЗ-ФСА подхода с Advanced Function Approach; второй и третий примеры, представленные в более сжатой форме, демонстрируют лишь результаты применения Advanced Function Approach.

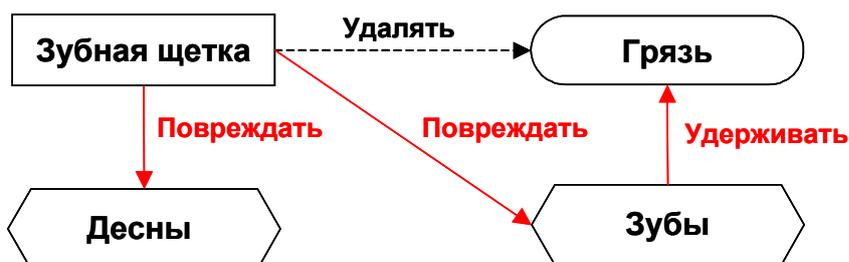
#### Чистка зубов зубной щеткой

Пример с зубной щеткой использовался С.С.Литвиным и В.М.Герасимовым при разработке основных положений ТРИЗ-ФСА. В настоящее время этот пример широко используется на ТРИЗ семинарах для обучения функциональному анализу. Кроме того, на базе функциональной модели зубной щетки демонстрируется применение различных методик; например, "Применение ТРИЗ для построения стратегии защиты интеллектуальной собственности". [18]

Покажем на этом классическом примере, в чем достоинство применения Advanced Function Approach при функциональном моделировании такой простой системы, как зубная щетка.

Итак, рассматриваемая ТС - зубная щетка, главная функция ТС - "удалять грязь с зубов".

Фрагмент функциональной модели на верхнем иерархическом уровне представлен на Figure 5

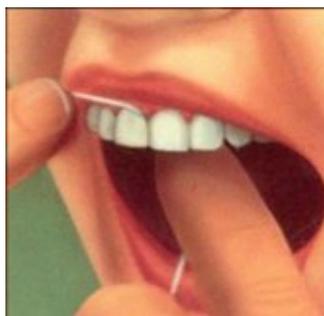


**Figure 5 Фрагмент функциональной модели зубной щетки на верхнем иерархическом уровне**

На модели показано, что основная функция зубной щетки "удалять грязь" имеет недостаточный уровень выполнения. Допустим, что уровень выполнения функции оценивался по параметру "количество грязи". Это вся информация о взаимодействии компонентов "Зубная щетка" - "Грязь", доступная из представленной модели (см. Figure 5).

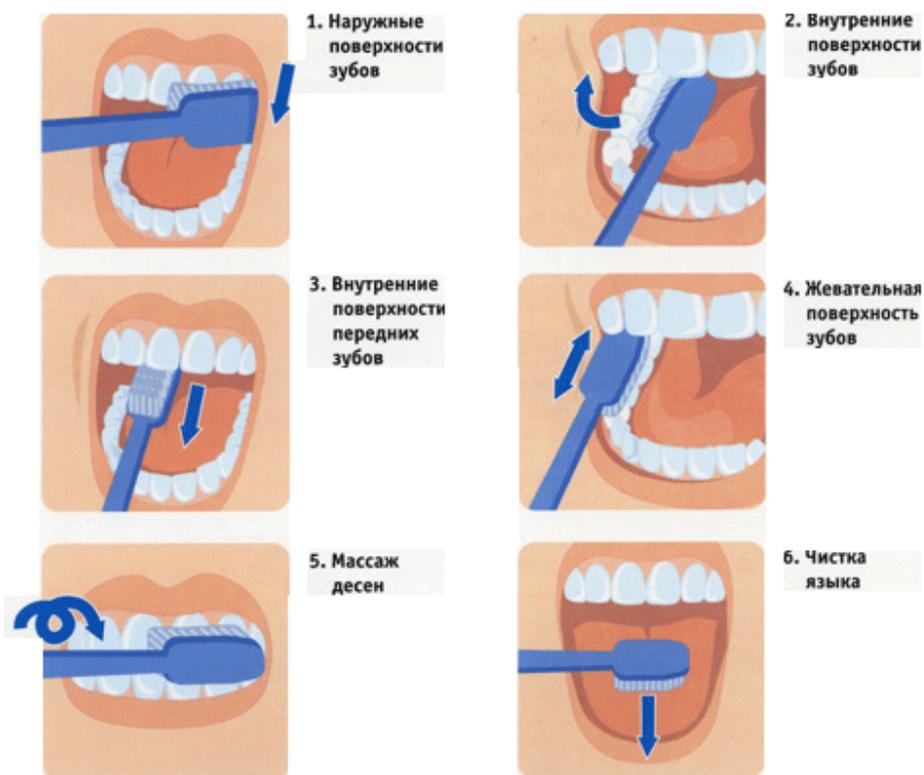
Из функциональной модели никак не следует факт неэффективного удаления щеткой грязи между зубов.

Действительно, в соответствии с рекомендациями стоматологов необходимо использовать специальную нить - floss для удаления грязи между зубов (см. Figure 6).



**Figure 6 Удаление грязи между зубов нитью.**

Если рассматривать ТС - зубная щетка, как набор функций, каждая из которых характеризуется местом и временем выполнения, то становится совершенно очевидным, что щетка удаляет грязь с разных поверхностей зубов, причем в разные моменты времени. Этот факт легко понять, если рассмотреть функционально рекомендации по чистке зубов [19], представленные на Figure 7.



**Figure 7. Рекомендации по чистке зубов.**

Применив Advanced Function Approach несложно показать, что, на самом деле, взаимодействие компонентов "Зубная щетка" - "Грязь" описывается как минимум четырьмя вариантами функции, которые выполняются в разных местах и в разное время. Важно, что и уровни выполнения этих функций различны:

- зубная щетка - "удалять грязь" (t10 - начало чистки зубов; внешняя поверхность зубов); уровень выполнения - адекватный
- зубная щетка - "удалять грязь" (t20; жевательная поверхность зубов); уровень выполнения - адекватный
- зубная щетка - "удалять грязь" (t30; небная поверхность зубов); уровень выполнения - недостаточный
- зубная щетка - "удалять грязь" (t40; боковая поверхность зубов (между зубами)); уровень выполнения - недостаточный

Можно выполнить более подробный анализ, рассмотрев процесс удаления грязи по различным сегментам зубного ряда [20], т.е. по месту выполнения функции "удалять грязь". Однако для демонстрационных целей ограничимся четырьмя представленными выше функциями.

Фрагмент функциональной модели, выполненной в соответствии с рекомендациями Advanced Function Approach, представлен в Table 2

**Table 2 Фрагмент функциональной модели**

Time	Function			Type/rank and level of performance	Allocation	Comments
	Function Carrier	Action	Object of Function			
t0	Зубы	Удерживать	Грязь	<b>Вредная</b>	Все поверхности зубов: внешняя, жевательная, небная, боковая (между зубами), под десной	
t10	Зубная щетка	Удалять	Грязь	<b>Основная, адекватный</b>	Внешняя поверхность зубов	
t20	Зубная щетка	Удалять	Грязь	<b>Основная, адекватный</b>	Жевательная поверхность зубов	
t30	Зубная щетка	Удалять	Грязь	<b>Основная, недостаточный</b>	Небная поверхность зубов	
t40	Зубная щетка	Удалять	Грязь	<b>Основная, недостаточный</b>	Боковая поверхность зубов (между зубами)	
t10-t40	Зубная щетка	Повреждать	Зубы	<b>Вредная</b>	Все поверхности зубов	
t10-t40	Зубная щетка	Повреждать	Десны	<b>Вредная</b>	В месте контакта с зубами	Можно разделить поверхности десен: внешняя, небная...
...	...	...	...	...	...	

Сравним результаты, полученные при использовании классического ТРИЗ-ФСА подхода и результаты применения Advanced Function Approach.

- При использовании классического ТРИЗ-ФСА подхода был выявлен и задокументирован функциональный недостаток: уровень выполнения функции "зубная щетка - "удалять грязь"" недостаточной (например, по параметру "количество грязи")
- При использовании Advanced Function Approach было четко показано, что:
  - зубная щетка адекватно удаляет грязь с внешней и жевательной поверхностями зубов,
  - недостаточно с внутренней и боковой поверхностями зубов,
  - абсолютно не удаляет грязь с поверхности зуба, находящейся под десной.

Кроме того, с помощью Advanced Function Approach была выявлена вредная функция зубов - "удерживать грязь под десной" (см. Table 2) и отсутствие важнейшей полезной функции зубной щетки - "удалять грязь под десной". Действительно, наличие такой функции у зубной щетки существенно повысило бы эффективность ухода за зубами, ведь пародонтоз и другие заболевания зубов вызываются наличием грязи под десной.

*Информация такого рода является существенно важной при анализе реальных ТС, поскольку она помогает глубже понять функционирование системы и выявить недостатки связанные с несоответствием фактического места выполнения функции с требуемым, а также сформулировать требования к отсутствующим важным функциям ТС.*

По результатам разбора конкретного примера, представляется целесообразным ввести следующие понятия:

"Функциональная зона" - предельно конкретное место выполнения функции, характеризующейся уровнем выполнения специфичным для данной зоны.

"Функциональный интервал времени" - предельно конкретный период времени, в течение которого выполняется функция, характеризующаяся уровнем выполнения специфичным для данного временного интервала.

Кроме того, в приведенном выше примере показано, что в одном месте - "на поверхности зубов (внешней/небной/боковой)" одним и тем же объектом "зубная щетка" выполняются и полезная функция "удалять грязь", и вредная функция "повреждать зубы".

Выполнение объектом в одном и том же месте и вредной, и полезной функции является недостатком ТС, который м.б. сформулирован в виде объективного противоречия.

Например, для зубной щетки физическое противоречие (ФП) м.б. сформулировано, как: "Щетка должна касаться поверхности зубов, чтобы удалять грязь, и щетка не должна касаться поверхности зубов, чтобы не повреждать ее."

Другой существенный недостаток системы, который легко обнаруживается с помощью функциональной модели (Table 2) - одновременное выполнение одним и тем же объектом "зубная щетка" полезных функций "удалять грязь" и вредной функции "повреждать десны".

Для реальных ТС, одновременное выполнение объектом полезной и вредной функций является недостатком, который м.б. сформулирован в виде объективного противоречия.

Например, в случае с зубной щеткой, поскольку функции "удалять грязь" и "повреждать десны" выполняются одновременно, то противоречия м.б. записаны в следующем виде:

Техническое противоречие (ТП) - 1: "Если долго чисть зубы зубной щеткой, то грязь будет удалена, но десны будут сильно повреждены."

ТП - 2: "Если чистить зубы зубной щеткой не долго, то десны не будут повреждены, но грязь останется на зубах."

ФП для зубной щетки м.б. сформулировано, как: "Время чистки должно быть длительным, чтобы удалять грязь, и время чистки должно быть коротким, чтобы не повреждать десны."

## **Мытье рук.**

Приведенный ниже пример взят из реального консультационного проекта. Целью проекта являлась разработка нового продукта для ухода за кожей рук: очистки от

грязи и бактерий, увлажнения. В качестве исходной системы для анализа была выбрана наиболее дешевая и распространенная – твердое косметическое мыло. Фрагмент функциональной модели мыла, выполненной в формате Advanced Function Approach, представлена в Table 3.

**Table 3 Фрагмент функциональной модели мыла**

Time	Function			Type/rank and level of performance	Allocation	Comments
	Function Carrier	Action	Object of Function			
t10	Кожа	Удерживать	Жиры	Основная, адекватный	Поверхность кожи	
t10	Жиры	Удерживать	Нативные бактерии	Дополнительная, недостаточный	Глубинные (ближайшие к коже) слои	
t10	Жиры	Удерживать	Вредные бактерии	Вредная	Поверхностные слои	
t10	Жиры	Удерживать	Грязь	Вредная	Поверхностные слои	
t10	Жиры	Удерживать	Влагу	Дополнительная, адекватный	Под слоем жира (в коже)	
t20	Человек	Удерживать	ПАВ	Дополнительная, адекватный	На поверхности жира	
t20	Человек	Распределять	Воду	Дополнительная, адекватный	По поверхности жира	
t20	Вода	Распределять	ПАВ	Дополнительная, адекватный	По поверхности жира	
t30	ПАВ	Разрушать	Жиры	Основная, избыточный	По всему объему	
...	...	...	...	...	...	

Функциональная модель отражает следующие важные факты:

- Жир (жировой слой) является промежуточным разделительным слоем между кожей и грязью.
- Грязь удерживается поверхностным слоем жира.
- Жировой слой, сам выполняет функцию увлажняющего крема - "удерживать влагу (под слоем жира / в коже)".
- В жировом слое, расположенном на коже рук, одновременно содержатся как вредные, так и полезные (нативные) бактерии.
- Имеется пространственное распределение бактерий: нативные бактерии находятся в глубинных (ближайших к коже) слоях, в то время как вредные - в поверхностных слоях.
- Поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав мыла, разрушают жировой слой одновременно по всему объему

По результатам функционального моделирования можно сделать следующие выводы и наметить пути решения поставленной задачи, т.е. сформулировать требование к новому продукту:

- Поскольку только поверхностные слои жира характеризуются вредными функциями, в то время как ближайšie к коже слои выполняют исключительно полезные функции, целесообразно ставить задачу контролируемого удаления поверхностных слоев жира.

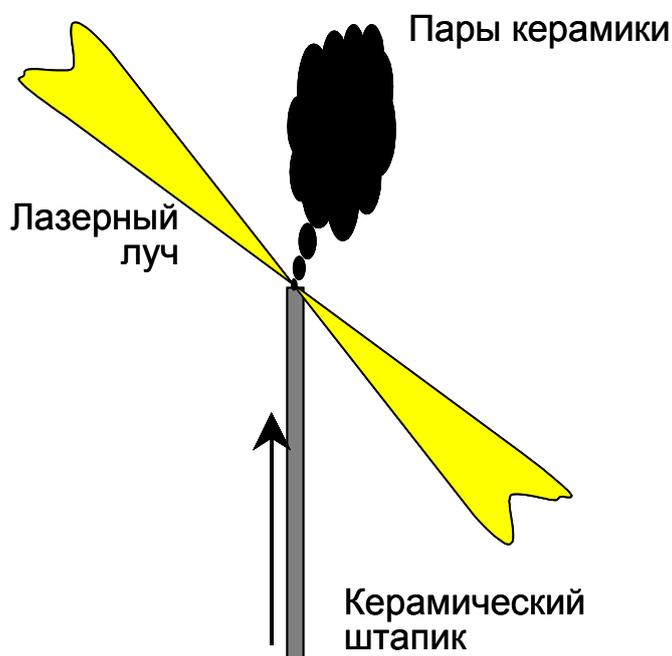
- Поскольку жир удерживает влагу в коже, то при контролируемом удалении поверхностных слоев и не повреждении глубинных, не требуется применение увлажняющего крема после мытья рук.
- Поскольку ПАВ, входящий в состав мыла, разрушает все слои жира, то целесообразно ставить задачу о замене принципа действия - выбора альтернативных путей контролируемого удаления жира.
- Требование к новому продукту м.б. сформулировано следующим образом: Продукт должен удалять поверхностные слои жира, не повреждая ближайшие к кожи слои.

Следует отметить, что детальное описание функционирования системы и формулирование неочевидных выводов стало возможным благодаря применению пространственно-временных характеристик выполнения функций.

### Испарение штапиков

Для синтеза nano частиц, осаждения тонких пленок и ряда других технологических задач требуется испарять тугоплавкие керамики, такие как  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$  или их сплавы.

В настоящее время для испарения таких материалов используют мощные лазеры.



**Figure 8. Испарение керамических штапиков. Схема процесса.**

Основная сложность, связанная с применением лазера, - обеспечение непрерывной подачи испаряемого материала в фокус лазерного луча. При воздействии лазерного излучения керамический штапик испытывает термический шок - термо-удар. Из-за

низкой теплопроводности керамики, термический шок вызывает частичное или полное разрушение (растрескивание) штапика. Возникает необходимость частой замены поврежденных штапиков.

Задача: Требуется обеспечить работу испарителя в непрерывном режиме - избежать частой замены штапиков.

Фрагмент функциональной модели испарения штапика приведен в Table 4.

**Table 4. Фрагмент функциональной модели испарения штапика**

Time	Function			Type/rank and level of performance	Allocation	Comments
	Function Carrier	Action	Object of Function			
t10	Держатель	Удерживать	Штапик	Основная, адекватный	Основание штапика	
t20	Лазерный луч	Испарять	Штапик	Основная, недостаточный	Кончик штапика, место фокусировки лазера	
t20	Лазерный луч	Разрушать	Штапик	Вредная	Объем/тело штапика	
...	...	...	...	...		

Из модели (Table 4) отчетливо видно, что:

- Одновременно с полезной функцией «лазерный луч испаряет штапик» выполняется вредная функция «лазерный луч разрушает штапик»
- Место выполнения этих функций не совпадает: для полезной функции – кончик штапика (фокус лазерного луча), для вредной – тело штапика

Рассмотрев исходную ситуацию с учетом места и времени выполнения функций, несложно сделать следующий вывод: задача заключается в обеспечении присутствия испаряемого материала в фокусе лазера в каждый момент времени, а не в обеспечении целостности штапика в любой момент времени.

Как только задача переформулирована в таком виде, не сложно найти ее решение (см. Figure 9).

Было предложено подавать в фокус лазерного луча вместо штапика керамический порошок [21]. Размер частиц порошка - сотни микрометров. Порошковые питатели для дозирования таких порошков хорошо известны, недороги, просты в эксплуатации.

Достигнутый сверх-эффект: была обеспечена работа испарителя в непрерывном режиме, поскольку полностью отпала необходимость останавливать работу лазера для замены штапиков по мере их испарения. Дозагрузку питателя порошком можно осуществлять без отключения лазера и разгерметизации камеры испарителя.



**Figure 9. Испарения керамического порошка в лазерном луче. Схема процесса.**

Здесь, как и в предыдущих примерах, за счет конкретизации места и времени выполнения функций удалось наиболее адекватно описать ТС, выявить функциональные недостатки и сформулировать выводы.

### 3.5. СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ДВУХ ОДИНАКОВЫХ СИСТЕМ. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ADVANCED FUNCTION APPROACH.

Рассмотрим, как возникает системный эффект в простейшем случае объединения двух одинаковых систем. Возможные комбинации условий выполнения действий при объединении систем показаны в таблице 1.

**Table 5. Возможные комбинации условий выполнения действий при объединении систем**

		Характеристика времени выполнения действий	
		Одновременное	Последовательное
Характеристика пространственного выполнения действий	Раздельно	1	2
	Совместно	4	3

Рассмотрим, как влияют условия выполнения действий на достигаемый результат:

Вариант 1: результаты аддитивны, но достигаются за более короткое время.

Вариант 2 не приводит к сокращению времени достижения результата, происходит только суммирование результатов.

Вариант 3: результат удваивается, но мы не достигаем сокращения времени получения этого удвоенного результата.

Вариант 4: имеется сокращения времени достижения результата, но сама величина результата будет существенно зависеть от взаимодействия двух систем в пространстве совместного действия. Системы могут «мешать» друг другу.

Таким образом, для ответа на вопрос о достигаемой эффективности при объединении функций необходимо рассмотреть условия выполнения действий в пространстве и времени.

Пример.

Для более наглядного пояснения представим два одинаковых экскаватора, которые нужно соединить в би-систему для рытья канавы (см. Figure 10).



**Figure 10. Экскаваторы, объединенные в би-систему**

Предположим, что канава имеет простейшую форму - прямоугольное сечение, без поворотов. Ширина канавы равна ширине ковша экскаватора.

- Вариант 4: если одновременно направим ковши экскаваторов в одно и то же место, то получаемый суммарный эффект трудно представить как полезный.
- Варианты 2,3: представляются бессмысленными в данном конкретном примере.
- Вариант 1 – наиболее интересный: В простейшем случае полного разделения пространства выполнения функций, достигаемые полезные результаты суммируются. Но если мы организуем одновременную работу экскаваторов и разделим пространство выполнения совместного действия, то можем получить и сверх суммарный эффект. Например, первый экскаватор удаляет грунт только на половину глубины канавы, а одновременно работающий с ним второй экскаватор делает то же самое со второй частью канавы. Тогда мы получим канаву за меньшее, чем в 2 раза, время – экскаваторам не нужно перестраивать положение ковша по высоте и за счет этого каждый из них работает производительней.

Однако, можно представить и такой случай, когда такое предложение разделения пространства выполнения действий увеличит время совместной работы. Дело в том, что для достижения режима одновременной работы на разных «высотных уровнях» первому экскаватору надо сначала удалить грунт на длине канавы, достаточной для расположения и обеспечения нормальной работы второго экскаватора. Представим себе, что длина канавы невелика, и мы не можем разместить два экскаватора друг за другом. Тогда никакого повышения эффективности от описанной схемы взаимодействия нет.

Важно отметить, что, обсуждая ожидаемый результат объединения двух простых однотипных систем, мы существенно и постоянно нуждались в пространственном и временном описании условий выполнения действий. Что и требовалось показать.

## 4. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОДУКТА НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В инновационной деятельности очень часто приходится иметь дело с ТС, представленными на рынке в виде потребительского продукта. Формально, с точки зрения ТРИЗ-ФСА, это система, находящаяся на этапе жизненного цикла - эксплуатация, и для ее анализ могут быть применены все известные алгоритмы и правила функционального анализа. В то же время, совершенно очевидно, что эксплуатация продукта существенно отличается от, например, его изготовления:

- продукт существует в совершенно другой надсистеме,
- и сам продукт, и компоненты надсистемы выполняют принципиально разные функции.

В данной главе сформулированы рекомендации по выполнению функционального анализа продукта на стадии эксплуатации. Показано, как Advanced Function Approach может быть использован для описания продукта и постановки неочевидных задач.

Прежде чем перейти к конкретным рекомендациям, процитируем пример из книги Р.Акоффа [22]. Текст примера приведен полностью, поскольку он поразительно ясно демонстрирует необходимость учета взаимодействий системы с компонентами надсистемы при анализе продукта на стадии эксплуатации.

### "Побасенка 3.9. НЕОБХОДИМОСТЬ НАКЛОНЯТЬСЯ МОЖЕТ ИМЕТЬ НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Беседуя однажды со своим другом, руководителем крупной фирмы по изготовлению бытовых приборов, Эзоп высказал мнение, что в конечном счете поведение потребителей редко противоречит здравому смыслу, чего, к сожалению, нельзя сказать о поведении производителей потребительских товаров. Руководитель фирмы, оспаривая справедливость этого утверждения, привел некоторые контрпримеры. По его мнению, после электрического холодильника был создан ряд удачных и неудачных бытовых приборов, появление которых нельзя объяснить здравым смыслом потребителей.

Так, например, как показали обследования, домашние хозяйки считают мытье посуды самым неприятным занятием. Однако автоматическая посудомойка, которую недавно выпустила фирма, не пользовалась успехом у покупателей. В то же время кухонная плита со встроенной духовкой и жаровней имела большой спрос, хотя в ней, по существу, ничего не было нового по сравнению с прежней плитой, а стоила она дороже. Руководитель попросил Эзоп объяснить такое поведение покупателей с точки зрения здравого смысла.

Эзоп сказал, что для ответа на поставленные вопросы требуются обширные исследования. Руководитель выразил сомнение в ценности таких исследований, но все-таки согласился провести прикидочную оценку проблемы. Эзоп предложил, чтобы в большом демонстрационном зале фирмы были выставлены образцы каждого бытового прибора, выпущенного фирмой; при этом на одной стороне должны располагаться приборы, пользующиеся успехом, а на другой - не пользующиеся успехом. Эзоп попросил также руководителя фирмы не входить в демонстрационный зал до тех пор, пока они не смогут сделать это вместе.

Спустя некоторое время руководитель сообщил Эзопу, что все готово. Они вместе вошли в демонстрационный зал и начали осмотр экспонатов. Буквально через минуту руководитель фирмы признал, что утверждение Эзопа о разумности поведения потребителей справедливо.

Дело в том, что каждый прибор, имеющий спрос у покупателей, обладал несомненным и очевидным достоинством - им можно было пользоваться не нагибаясь и не подтягиваясь. В то же время для того, чтобы загрузить посудой посудомоечную машину, нужно было садиться на корточки. По этой же причине неудобно было пользоваться плитой старого образца.

Прежде чем Эзоп покинул зал, руководитель приступил к изменению конструкции обоих приборов. Во-первых, он предложил спроектировать посудомоечную машину с выдвижными ящиками, чтобы ее можно было загружать не нагибаясь. Во-вторых, он предложил спроектировать кухонную плиту, в которой духовка и жаровня располагались бы не внизу, а сверху агрегата и освободившееся место под горелками могло бы быть использовано для хранения посуды."

Приведем еще один замечательный пример из этой же книги [22], демонстрирующий особенности анализа продукта на этапе эксплуатации:

#### "Побасенка 3.10. ПРОБЛЕМА НАИЗНАНКУ

Руководитель одной из крупных фирм по изготовлению бытовых приборов жаловался на то, что становится все труднее сохранять долю фирмы на рынке сбыта холодильников, не говоря уже о ее увеличении, поскольку между различными марками холодильников нет существенных различий. Эзоп рекомендовал ему изучить возможность внесения таких различий и для этого провести небольшое исследование, которое позволило бы выявить возможные существенные усовершенствования холодильника с точки зрения пользователя. Руководитель согласился.

Эзоп обнаружил, что чаще всего холодильник открывают для того, чтобы достать лед или холодную воду. Поэтому он предложил сконструировать холодильник, снабженный специальным устройством, встроенным в дверь и позволяющим доставать кубики льда, и холодную воду без открывания двери. Прошло много лет, прежде чем данное предложение было реализовано."

Из приведенных выше примеров совершенно отчетливо видно, что пути совершенствования ТС были выявлены по результатам анализа процесса эксплуатации системы, т.е. анализа ее взаимодействия с компонентами надсистемы, включая человека/пользователя.

Теперь, на простом примере покажем, как могут быть применены Advanced Function Approach для описания и совершенствования продукта на этапе эксплуатации.

Рассмотрим эксплуатацию простой технической системы – водопроводного смесителя для ванной (см. Figure 11). Приведем линию повышения идеальности смесителя за счет уменьшения количества компонентов ТС при сохранении ее функциональности.



**Figure 11. Водопроводный смеситель**

Если описать функции компонентов смесителя с учетом времени и места их выполнения, то легко показать, что вентили горячей и холодной воды выполняют похожие функции над разными объектами: направлять и удерживать горячую и холодную воду, соответственно.

Замена двух вентилях одним, является предсказуемым логическим шагом в повышении идеальности смесителя (Figure 12).



**Figure 12. Водопроводный смеситель с одним регулятором.**

Следующий шаг в повышении идеальности очевиден, если учесть, что функции «направлять воду в кран» и «направлять воду в душ» принципиально выполняются в разные моменты времени. Другими словами, во время использования душа, кран не нужен. Его можно "убрать", одновременно переключив воду в душ (см. Figure 13).



**Figure 13. Смеситель "без переключателя".**

Следует отметить, что смеситель не анализировался на глубоком иерархическом уровне: прокладки, болтики, уплотнители и т.п. Пути повышения идеальности ТС были выявлены на уровне взаимодействия с надсистемой - водой, пользователем.

Основные рекомендации по анализу системы на этапе эксплуатации сводятся к следующему:

- Функциональный анализ должен быть выполнен на верхнем иерархическом уровне, т.е. на уровне надсистемы. На этапе эксплуатации крайне важно, как ТС взаимодействует с окружающими ее компонентами надсистемы, в том числе и с объектом своей главной функции.  
Функциональный анализ системы на более низком иерархическом уровне также может быть выполнен в случае необходимости.
- Если функциональный анализ ТС выполняется на верхнем иерархическом уровне, то не требуется ранжировать функции, как Основные, Вспомогательные, Дополнительные [1]. Ранг функции характеризует ее относительную важность и определяется по объекту функции. Для функциональной модели построенной на уровне надсистемы характерно наличие большого количества функций двух рангов:  
Основные функции (наивысший ранг) - это функции, направленные на объект главной функции системы.  
Дополнительные функции - это функции, направленные на компонент надсистемы, не являющийся объектом главной функции.  
Причем, информация о рангах функций, в данном случае, не является необходимой для дальнейшего анализа.
- Относительную важность функции можно оценить по ее типу, как это рекомендуется при выполнении функционального анализа технологических

процессов [11]. В анализе процессов функции делятся на создающие, обеспечивающие, исправительные.

- Для этапа эксплуатации важно, чтобы фактические время и место выполнения системой полезных функций совпадали с требуемыми, в противном случае такие несоответствия являются функциональными недостатками системы.

Недаром любое руководство по эксплуатации продукта содержит пространственно-временные характеристики.

*Пример 1. Использование зубной щетки: Зубную щетку тщательно промывают водой. Пасту наносят на всю длину поверхности щетины... далее рекомендации по движению щетки в полости рта... Весь процесс чистки зубов должен занимать не менее 3 минут.*

*Пример 2. Заваривание чая: Поместите чайный пакетик в чашку, залейте кипятком, держите пакетик 3-5 минут...*

Очевидно, что Advanced Function Approach, подразумевающий обязательное указание места и времени выполнения функции, может существенно усилить функциональный анализа продукта на этапе эксплуатации.

## 5. ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСОВ

*"Когда я решил привести ресурсы для решения научных задач, то у меня получился весь список явлений, веществ и полей от центра Земли до центра Солнца."*

В.В. Митрофанов [23]

Первое упоминание о ресурсном анализе встречается в АРИЗ. Во второй части АРИЗ-85-В дается следующее определение: Вещественно-полевые ресурсы (ВПР) - это вещества и поля, которые уже имеются или могут быть легко получены по условиям задачи [24]. ВПР разделяются на внутрисистемные, внешнесистемные и надсистемные. В соответствии с таким разделением рекомендуется составлять список имеющихся ресурсов. Однако, отсутствуют четкие критерии выбора ресурсов; совершенно не ясно какие из множества доступных ресурсов могут быть реально использованы для решения задачи. По сути, выбор ресурса, а соответственно и вариант решения задачи, зависят от эрудиции и опыта решателя.

В настоящее время ресурсный анализ используется как самостоятельный инструмент ТРИЗ или в сочетании с такими инструментами, как Функционально-ориентированный поиск, Объединение альтернативных систем и др. Усилия разработчиков ТРИЗ направлены, в основном, на создание подходов, позволяющих выявлять как можно большее количество ресурсов, потенциально пригодных для решения задач. Основные результаты их исследований представлены в работах [25 - 32].

Очевидно, что для эффективного решения практических задач не достаточно иметь самый полный список всех возможных ресурсов. Необходимо также иметь возможность выбирать из этого списка наиболее работоспособные ресурсы, пригодные для решения данной конкретной задачи.

Предлагается использовать Advanced Function Approach для выявления и отбора ресурсов на основе их функциональности: необходимо четко формулировать функцию, которую потенциальный ресурс должен выполнять, место и время ее выполнения, а уж затем целенаправленно выявлять необходимый ресурс.

### 5.1. Использование Advanced Function Approach в сочетании с инструментами ТРИЗ-ФСА для выявления ресурсов

Представляется целесообразным использовать подходы хорошо зарекомендовавших себя инструментов ТРИЗ-ФСА для повышения эффективности ресурсного анализа. Такие подходы могут быть адаптированы из Функционально-идеального моделирования (Свертывания) и Функционально-ориентированного поиска (ФОП).

Свертывание технических систем - одна из наиболее формализованных и хорошо описанных процедур ТРИЗ-ФСА. [33]

Кроме прочих, существуют хорошо структурированные рекомендации по поиску компонента - носителя функции, способного выполнять функцию(и) свернутого компонента. По определению, такой компонент является материальным объектом - веществом или полем, т.е. ВПР. Поскольку этот ВПР выбирается по критерию "способность выполнять требуемую функцию" среди оставшихся компонентов системы или надсистемы, то он является тем самым наиболее подходящим ресурсом из огромного множества прочих.

В соответствии с методическими рекомендациями [33], потенциальный носитель функции должен соответствовать одному из перечисленных условий:

- Компонент уже выполняет такую же или похожую функцию над объектом анализируемой функции
- Компонент выполняет такую же или похожую функцию над другим объектом
- Компонент выполняет какую-либо функцию над объектом анализируемой функции или, как минимум, взаимодействует с ним
- Компонент обладает (или может быть легко наделен) набором параметров, необходимых для выполнения анализируемой функции

Последнее условие представляется чрезмерно общим и мало инструментальным для оценки и отбора ресурсов. Поэтому рекомендуется не использовать его при анализе ресурсов.

ФОП - еще один методический инструмент, рекомендации которого могут быть адаптированы для поиска ресурсов. [34]

Основная идея ФОП заключается в том, что для решения задач могут быть использованы готовые технологии из так называемых лидирующих областей науки и техники. Для поиска таких технологий составляется обобщенный функциональный запрос без использования специальных терминов, характерных для какой-либо конкретной области. Для того чтобы сузить область поиска, рекомендуется описать параметры объекта функции и параметры выполнения функции. Тот же самый подход может быть применен для поиска компонента - ресурса, способного выполнять требуемую функцию. Более того, Advanced Function Approach за счет уточнения места и времени выполнения функции позволяет существенно конкретизировать требования к ресурсу.

## **5.2. Алгоритм ресурсного анализа**

Ниже приведен алгоритм выполнения ресурсного анализа, основанного на формулировании функциональных требований к потенциальному ресурсу. Следует отметить, что такой подход использовался автором многократно для решения практических задач. Пример применения функционально-ориентированного анализа ресурсов также приведен ниже.

Алгоритм:

1. Записать задачу по поиску ресурса

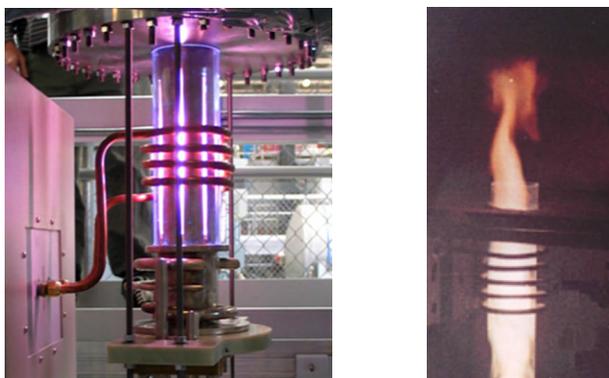
2. Переформулировать задачу в функциональном виде: "ресурс" должен выполнять функцию ... . *Функция формулируется без использования специальных терминов.* Указать требуемое место и время выполнения функции.
3. Сформулировать требования к объекту функции и условиям выполнения функции.
4. Применить ФОРП с целью обнаружения существующих реализаций функции в лидирующих областях науки и техники. С учетом преимуществ найденных технологий, уточнить требования к объекту функции и условиям выполнения функции.
5. Рассмотреть компоненты системы и надсистемы на предмет соответствия функциональному запросу (п.2) с учетом требований (п.3,4) в следующем порядке:
  - Компонент уже выполняет такую же или похожую функцию над объектом анализируемой функции
  - Компонент выполняет такую же или похожую функцию над другим объектом
  - Компонент выполняет какую-либо функцию над объектом анализируемой функции или, как минимум, взаимодействует с ним
6. Сформулировать идею(и) решения
7. Выявить и записать задачи адаптации

### 5.3. Пример выполнения ресурсного анализа

Пример: возбуждение стационарного разряда в высокочастотном индукционном (ВЧИ) плазмотроне при атмосферном давлении.

ВЧИ плазмотроны широко используются начиная с 1960-х годов в таких областях, как плазмохимия, спектральный анализ, очистка и сфероидизация порошков тугоплавких материалов и др. Принцип работы, характерные режимы и примеры использования ВЧИ плазмотронов подробно описаны в [35, 36].

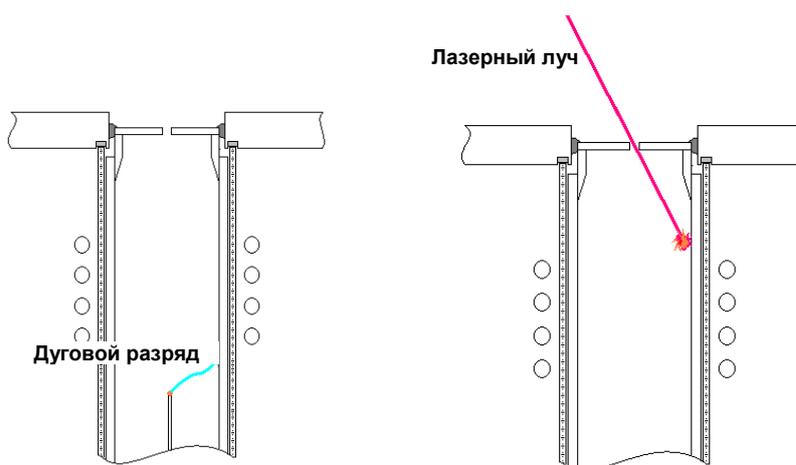
Автор имеет практический опыт проектирования и эксплуатации индукционных плазмотронов. Описанная здесь задача решалась совместно с С.В.Путвинским в 2002 г. Фотографии плазмотронов представлены ниже (см. Figure 14)



**Figure 14 .** Фотографии ВЧИ плазмотронов, работающих при атмосферном давлении.

Одной из важных практических задач, возникающих при использовании таких плазмотронов, является задача возбуждения стационарного разряда в плазмотроне, поскольку при атмосферном давлении и комнатных температурах газ не является проводящей средой / плазмой.

Широкое применение нашли несколько способов, основанных на применении вспомогательных электрических разрядов [36]. Суть этих способов заключается в создании в камере плазмотрона некоторого количества заряженных частиц, способных ускориться под действием электромагнитного поля индуктора и вызвать лавинообразный процесс ионизации газа в плазмотроне (см. Figure 15).



**Figure 15. Примеры способов инициации плазмы в ВЧИ плазмотроне.**

Применение таких способов ограничено необходимостью использования дополнительного дорогостоящего оборудования и/или введения в рабочую камеру дополнительных элементов, препятствующих работе плазмотрона в номинальном режиме.

Итак, задача состоит в следующем: необходимо иницировать разряд в камере ВЧИ плазмотрона или, другими словами, обеспечить присутствие заряженных частиц в камере в количестве достаточном, для начала лавинообразной ионизации газа при протекании тока в индукторе. При этом недопустимо присутствие в разрядной камере дополнительных элементов. Стоимость системы поджига не должна существенно увеличивать стоимость плазмотрона.

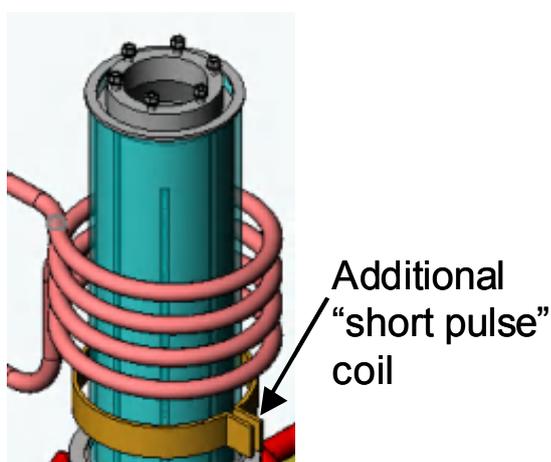
По сути, необходимо обнаружить ресурс среди компонентов системы или надсистемы, способный иницировать плазму в плазмотроне.

Применим Advanced Function Approach для поиска такого ресурса. Воспользуемся предложенным алгоритмом:

1. Задача: необходимо обнаружить ресурс для возбуждения ВЧИ плазмы
2. Формулировка задачи в функциональном виде (поисковый образ): "ресурс" ионизирует газ  
Место выполнения функции: внутри плазмотрона в области индуктора,  
Время выполнения функции: в момент протекания тока высокой частоты в индукторе

3. Требования к объекту функции: молекулярный газ при комнатной температуре и атмосферном давлении
4. С помощью ФОП рассматривались такие явления, как молния, озонирование воздуха, горение газа под давлением и пр. Однако, на реальные практические решения с помощью ФОП выйти не удалось из-за сложности вторичных задач.
5. На данном шаге алгоритма становится очевидным, что индуктор выполняет похожую функцию над другим объектом - плазмой. А именно, индуктор поддерживает плазму в ионизированном состоянии. Более того, функция выполняется в том же месте и в то же время, что и требуемая от ресурса функция.
6. Идея решения: на доли секунды повысить скачком напряжение на индукторе до величины достаточной для электрического пробоя газа внутри плазмотрона.
7. Задачи адаптации: существует опасность повреждения источника питания плазмотрона (ВЧ генератора) импульсом тока.

Были выполнены расчеты, показавшие, что идея реализуема в принципе. Для первых экспериментов, решено было использовать дополнительное кольцо расположенное ниже индуктора (см. Figure 16). Рабочее напряжение подавалось на основной индуктор, затем на дополнительное кольцо подавался импульс высокого напряжения длительностью несколько миллисекунд.



**Figure 16. Пример расположения дополнительного кольца для инициации плазмы в ВЧИ плазмотроне.**

К сожалению, по ряду причин финальное решение не было опробовано. Оно заключалось в том, что импульс высокого напряжения подается на уже имеющийся основной индуктор.

Как видно из приведенного выше примера, предлагаемый формат ресурсного анализа прост и нагляден. Дополнительные примеры использования такого

функционально-ориентированного анализа ресурсов для разработки новых косметических продуктов приведены в [37,38].

В заключении главы хочется отметить, что предлагаемый подход к анализу ресурсов отличается:

- Практичностью: позволяет формулировать работоспособные идеи в короткий срок без существенных трудозатрат
- Эффективностью: подход использует методические разработки таких хорошо зарекомендовавших себя инструментов ТРИЗ-ФСА, как Функционально-идеальный синтез (свертывание) и Функционально-ориентированный поиск.
- Простотой применения: базовых знаний ТРИЗ-ФСА достаточно для освоения и успешного использования предлагаемого подхода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги выполненной работы, хочется отметить, что логика ее выполнения укладывается в рамки дедуктивного метода построения научных теорий [39], когда на основе некоторых утверждений/предположений логически выстраивается целостная работоспособная теория. Этот метод по преимуществу интенсивный, не столько расширяющий, сколько организующий имеющееся знание [40]. Таким образом, повышается ценность и расширяется сфера применения имеющихся знаний.

В настоящей работе по результатам исторического анализа эффективности введения параметров для описания функции было выдвинуто предположение о необходимости параметрического описания не только объекта и носителя функции, но и самого действия – глагольной части функции. Было предложено использовать «время выполнения функции» и «место выполнения функции» в качестве наиболее универсальных параметров, характеризующих любое действие. Действительно, ведь любое действие происходит во времени и в пространстве. Такой метод описания функции получил название Advanced Function Approach – усиленный функциональный подход.

Далее было показано, что введение пространственно-временных характеристик действия в описание функции позволяет существенно усилить такой мощный аналитический инструмент, как функциональный анализ технических систем. По сути, был предложен новый тип функциональных недостатков, связанных с несовпадением фактического места и/или времени выполнения функции с требуемым(и), что расширило возможности применения функционального анализа для описания систем и постановки неочевидных/нетривиальных задач, не выявляемых с помощью классического ТРИЗ-ФСА подхода. Кроме того, показано как Advanced Function Approach может быть использован для выявления важных недостающих функций ТС. Такой подход позволяет существенно увеличить эффективность анализируемой системы путем добавления требующихся функций.

Был предложен формат выполнения функционального анализа с учетом пространственно-временных характеристик, позволяющий без особых интеллектуальных усилий формулировать противоречия, требующие разрешения во времени или пространстве.

Одно из практических приложений Advanced Function Approach, показанное в настоящей работе, - его применение для анализа технических систем на этапе эксплуатации. Очевидно, что такой этап резко отличается от, например, этапа изготовления системы: совершенно другая надсистема, другой характер взаимодействия системы с компонентами надсистемы. По сути, анализируя систему на этапе эксплуатации, мы должны рассматривать процесс ее эксплуатации с учетом надсистемных взаимодействий. Примеры, приведенные в соответствующей главе диссертационной работы, убедительно демонстрируют целесообразность такого подхода.

Также было предложено использовать Advanced Function Approach для выполнения анализа ресурсов. Показано, что можно избежать кропотливого перебора всех имеющихся ресурсов системы и надсистемы, если сформулировать четкий функциональный запрос на требуемый ресурс. Предложен алгоритм выполнения

ресурсного анализа, шаги которого включают в себя, в том числе, рекомендации таких широко известных и проверенных инструментов ТРИЗ-ФСА, как функционально-идеальное моделирование (свертывание) и функционально-ориентированный поиск.

Работа содержит большое количество примеров, как из личной практики автора, его научного руководителя и коллег; так и из литературы.

Направления дальнейшего приложения творческих усилий автор видит в разработке рекомендаций, касающихся применения Advanced Function Approach для совершенствования таких инструментов ТРИЗ-ФСА, как потоковый анализ, анализ сверх-эффектов, объединение альтернативных систем.

Автор выражает искреннюю благодарность своим ТРИЗ учителям и наставникам, коллегам - ТРИЗ консультантам и преподавателям за их объективные замечания, ценные рекомендации и доброжелательные советы. Без их помощи данная работа вряд ли была бы выполнена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов В.М., Калиш В.С., Карпунин М.Г., Кузьмин А.М., Литвин С.С., «Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: Методические рекомендации». - М.: «Информ-ФСА», 1991. — 40 с.
2. GEN3:Innovation Discipline.  
<http://www.gen3partners.com/approach/methodology>
3. Ideation TRIZ. <http://www.ideationtriz.com/triz.asp>
4. Extended TRIZ. <http://www.xtriz.com/>
5. Основная тема ТРИЗ Саммита 2009: «Разработка нового поколения АРИЗ».  
<http://www.triz-summit.ru/ru/section.php?docId=4161>
6. Kaufman J. Jerry. Value Management: Creating Competitive Advantage. Sakura House Publishing 2009; 102 pages
7. Charles W. Bytheway. FAST: An Intuitive Thinking Technique, CVS; in VaLue WORLD Volume 28, Number 1, Spring 2005 pp. 2-4; [Originally published in 1992]
8. Charles W. Bytheway. Fast Creativity & Innovation: Rapidly Improving Processes, Product Development and Solving. J. Ross Publishing 2006; 254 pages;
9. On-line портал о стандартах <http://www.standard.ru/iso9000/iso9000-txt15.phtml> (последний просмотр 11.05.2010, 15:33:00)
10. А.М. Кузьмин. История возникновения и развития ФСА  
<http://www.inventech.ru/pub/club/099/> (последний просмотр 11.05.2010, 15:29:00)
11. Innovative Technology of Design. Методический справочник (Guide). А.Л.Любомирский. Утверждено С.С.Литвин. 1998.
12. Петров В.М. Закономерности развития функций.  
<http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/zrts-05-function.pdf> (последний просмотр 27.05.2010. 14:05:00)
13. Пиняев А.М. Функциональный Калейдоскоп. ТРИЗ - чтения 2005.  
<http://www.metodolog.ru/00527/00527p.html> (последний просмотр 25.05.2010. 15:23:00)
14. Федосов Ю.И. Статистика "элементарных функций". Сборник трудов международной конференции TRIZ – Fest 2009, Санкт-Петербург, 2009
15. М.С.Рубин. Параметрический ТРИЗ.  
<http://temm.ru/ru/section.php?docId=4466> (последний просмотр 25.05.2010. 16:01:00)

16. МЕГАЭНЦИКЛОПЕДИЯ КИРИЛЛА И МЕФОДИЯ <http://www.megabook.ru/> (последний просмотр 25.05.2010. 15:48:00)
17. Составление алгоритма на языке блок-схем. [http://www.codingrus.ru/readarticle.php?article\\_id=2252](http://www.codingrus.ru/readarticle.php?article_id=2252) (последний просмотр 18.05.2010, 18:16:00)
18. Яковенко С.А. Диссертация Мастер ТРИЗ "Применение ТРИЗ для построения стратегии защиты интеллектуальной собственности", 2006.
19. Чистка зубов. Web-site стоматологической клиники ДентаКласс <http://dentasc.ru/content.php-id=32.php> (последний просмотр 19.05.2010, 12:43:00)
20. Методика чистки зубов. Web-site Клиники Современной Стоматологии [http://www.pro-vident.ru/info/stat\\_chizub.html](http://www.pro-vident.ru/info/stat_chizub.html) (последний просмотр 19.05.2010, 12:47:00)
21. Патентная заявка US 20070172601 System and method for vaporizing powders. S.Putvinski, M.Meekins, O.Feygenson, K.Umstadte
22. Акофф Р. Искусство решения проблем. М, Мир.1982 - 224 с.
23. В.В. Митрофанов. Ресурсы. Размещено на сайте 24.03.2008. <http://www.metodolog.ru/01342/01342.html> (последний просмотр 21.04.2010, 17:18:00)
24. Правила игры без правил / Сост. А.Б.Селюцкий. - Петрозаводск: Карелия, 1989
25. Уразаев В., Апрель 2008. Инновации в технике: идеальность и ресурсный подход. <http://www.metodolog.ru/01362/01362.html> (последний просмотр 23.04.2010, 12:47:00)
26. В.В. Митрофанов, Март 2008. Ресурсы. <http://www.metodolog.ru/01342/01342.html> (последний просмотр 23.04.2010, 12:49:00)
27. Zlotin B., Zusman A. December 2004 - March 2005. The Concept of Resources in TRIZ: Present, Future. <http://www.ideationtriz.com/new/materials/finalconceptresources.pdf> (последний просмотр 23.04.2010, 12:53:00)
28. Гасанов А.И., Учебник по ТРИЗ. Часть 5. Вещественно-полевые ресурсы. <http://www.metodolog.ru/00034/00034.html> (последний просмотр 24.04.2010, 10:10:00)
29. Mueller S. 2005. The TRIZ Resource Analysis Tool for Solving Management Tasks: Previous Classifications and their Modification. Creativity and Innovation Management, Vol.1, pages 43-58.
30. А.Б.Бушуев. Июнь 2008. Векторный анализ ресурсов. <http://www.metodolog.ru/01424/01424.html> (последний просмотр 24.04.2010, 10:13:00)

31. Kraev V. January 2007. Kraev's Korner: Resource Analysis - Lesson 4, TRIZ-Journal. <http://www.triz-journal.com/archives/2007/01/08/> (последний просмотр 24.04.2010, 10:18:00)
32. Иванов Г.И. Июль 2008. Алгоритм решения инженерных проблем – АРИП 2008. <http://www.metodolog.ru/01432/01432.html> (последний просмотр 24.04.2010, 10:23:00)
33. Применение методов технического творчества при проведении функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации. Герасимов В. М.; Дубров В. Е.; Карпунин М. Г.; Кузьмин А. М.; Литвин С. С. МОСКВА. Информэлектро. 1990
34. Litvin S. Материалы конференции TRIZ-Fest 2007. Substantiation of Function-Oriented Search Derived Solutions <http://www.metodolog.ru/01100/01100.html> (последний просмотр 22.04.2010, 15:29:00)
35. Физика и техника низкотемпературной плазмы. Под общей редакцией С. В. Дресвина. - М., Атомиздат, 1972. (Авт. Дресвин С. В., Донской А. В., Гольдфарб В. М., Клубникин В. С;), 352 с.
36. Дашкевич И.П. Высокочастотные разряды - промышленное применение / Под ред. А.Н. Шамова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Политехника, 1991. - 80 с.
37. O.Feyngenson, M.Urusova. Function Approach for Resource Analysis. Proceedings of European Conference TRIZ-Future 2008 "Synthesis of Innovation". Enschede, The Netherlands. November 5-7, 2008
38. Фейгенсон О.Н. Функционально ориентированный анализ ресурсов. Сборник трудов международной конференции ТРИЗ Фест 2009. Санкт-Петербург, 27-29 июля 2009.
39. ЦИФРОВАЯ БИБЛИОТЕКА ПО ФИЛОСОФИИ. Дедуктивный метод. <http://filosof.historic.ru/enc/item/f00/s03/a000302.shtml> (последний просмотр 26.05.2010, 8:35:00)
40. В.И. Моисеев. Философия и методология науки. Аксиоматико-дедуктивный метод научного познания [http://society.polbu.ru/moiseev\\_sciencephilo/ch31\\_i.html](http://society.polbu.ru/moiseev_sciencephilo/ch31_i.html) (последний просмотр 26.05.2010, 8:39:00)