


А.Б. Бушуев, Ю.В. Литвинов

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

D.	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4
T^{-5}	$L^{-1}T^{-5}$	L^0T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощность	L^4T^{-5}
T^{-4}	$L^{-1}T^{-4}$	L^0T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Давление Напряжение	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила
T^{-3}	$L^{-1}T^{-3}$	L^0T^{-3}	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля Вязкость	Ток Массовый расход	Импульс
T^{-2}	Изменение электр. объемной плотности	Угловое ускорение Массовая плотность	Линейное ускорение	Разность потенциалов		
T^{-1}	Электр. объемная плотность	Частота Угловая скорость	Линейная скорость			
T^0	Кривизна Изменение проводимости					



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.Б. Бушуев, Ю.В. Литвинов

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлениям подготовки 15.03.06, 27.04.03, 27.04.04
в качестве учебно-методического пособия для реализации образовательных
программ высшего образования бакалавриата и магистратуры



Санкт-Петербург
2019

Бушуев А.Б., Литвинов Ю.В. Функционально-структурное моделирование технических систем – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 28 с.

Рецензенты:

Быстров Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") факультета систем управления и робототехники, Университета ИТМО.

Учебно-методическое пособие для выполнения второго домашнего задания, включающее исходные данные в виде патента на изобретения, персонального для каждого студента, анализ функциональной схемы с помощью теории графов с целью нахождения узкого места структуры, составление схемы моделирования Коллера, поиски нового решения с помощью таблицы кинематических величин Бартини, оценка ресурсоёмкости в LT-базисе



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019
© Бушуев А.Б., Литвинов Ю.В., 2019

Оглавление

Введение.....	4
1.Порядок выполнения домашнего задания.....	6
2.Некоторые примеры выполнения домашнего задания.....	8
2.1. Топологический анализ структуры прототипа с помощью теории графов. Указания к п. 1.3.	8
2.1.1. Анализ связей	11
2.1.2. Определение степени связности	13
2.1.3. Анализ функциональных преобразований	15
2.1.4. Определение диаметра структуры	16
2.1.5. Определение полюса действий - наиболее нагруженного элемента	16
2.2. Составление потоково-информационной схемы с операциями Р.Коллера. Указания к п. 1.....	17
2.2.1. Типовые операции Р. Коллера	17
2.3. Моделирование процесса мышления по шагам решения изобретательской задачи. Указания к п. 1.10.	19
2.4. Определение физического свойства решения изобретательской задачи при помощи LT-таблицы кинематических величин Р.Бартини. Указания к п. 1.10.	22
Приложение. Варианты домашних заданий.....	25
Литература	27

Введение

Домашнее задание является сквозной практической работой по курсам «Основы технического творчества» и «Теория решения изобретательских задач», и базируется на знаниях, полученных студентами в философии, физике, механике, электротехнике, электронике, теории управления.

Цель домашнего задания – научить студентов технических вузов практическим навыкам работы с изобретениями, представленными в патентах структурными схемами.

В методическом пособии используются следующие структурные методы исследования изобретательских задач:

метод графов для поиска «узкого», наиболее напряжённого места в структурной схеме изобретения, базирующийся на работах Ю.П.Саламатова,

метод типовых операций Р. Коллера,

метод моделирования информационно-энергетических схем изобретений.

Каждый студент получает индивидуальное задание от преподавателя, представляющее собой описание патента к изобретению с его названием и номером, как исходный материал для анализа и синтеза технической системы и исследования процесса передачи наследственной информации от прототипа к новому решению. Изобретения в большинстве своем относятся к приборным устройствам или способам с развитой электромеханической и оптической частями, предназначенные для передачи и преобразования энергии и информации. Наиболее характерными представителями являются датчики и преобразователи информации. Такие изобретения характерны в технических системах управления, в информатике, в приборах точной механики, в информационно-измерительной технике и т.п.

Материалы, представляемые на защиту домашнего задания, оформляются в виде пояснительной записки со всеми необходимыми чертежами.

В первом разделе приведен порядок работы над домашним заданием и пункты, которые требуется выполнить. Количество пунктов, которые необходимо сделать, назначает преподаватель в зависимости от того, кто их будет выполнять – магистры или бакалавры. В частности, пункты, касающиеся моделирования передачи наследственной информации в процессе решения изобретательской задачи, предназначены только для магистров. Кроме того, объем задания может меняться в зависимости от того, сколько часов в рабочем плане отведено на самостоятельную работу студентов.

В каждом пункте приведены ссылки на литературу, необходимую для выполнения задания. Кроме того, для наиболее сложных пунктов во втором

разделе учебного пособия представлены примеры выполнения. В частности, полностью рассмотрен анализ графа схемы изобретения. Во втором разделе представлено моделирование хаотических колебаний в аттракторах Лоренца и Рёсслера. В приложении приведен список патентов, рекомендуемых для выдачи в качестве исходных материалов.

1. Порядок выполнения домашнего задания

1.1. Изучить описание изобретения-прототипа и понять принцип действия заявленного устройства или устройства, реализующего заявленный способ.

1.2. Изложить принцип действия устройства в пояснительной записке с приведением всех необходимых рисунков и графиков.

1.3. Произвести топологический анализ структуры прототипа с помощью теории графов и определить «узкое», наиболее конфликтное место структуры.

1.4. Составить потоково-информационная схему прототипа в виде графа. Указать на схеме операции Р. Коллера.

1.5. Из потоково-информационной схемы получить структурно-энергетическую схему системы в виде последовательных цепочек веществ и полей. Пример выполнения приведен в параграфе 1.1.3. [1].

1.6. На основании структурно-энергетической схемы получить динамическую модель развития структуры в виде системы дифференциальных уравнений с неопределенными коэффициентами. Пример выполнения приведен в параграфе 1.2.1. [1].

1.7. Смоделировать систему уравнений развития структуры в программной среде «Матлаб». Цель моделирования – подобрать численные значения неопределенных коэффициентов и начальных условий, обеспечивающих устойчивость модели. Получить графики изменения вероятностей преобразования элементов и потенциальных функций. Пример выполнения приведен в параграфе 1.2.2. [1].

1.8. На основании описания и чертежей конструкции составить информационно-энергетическую структурную схему прототипа. Определить вещественно-полевые ресурсы входов и выходов блоков схемы. Используя закон повышения информационно-энергетической проводимости, синтезировать новое решение и определить, какой результат в нём достигается. Описать работу нового устройства. Примеры выполнения приведены в параграфах 1.3.2. и 1.3.3. [1].

1.9. Провести анализ формулы изобретения прототипа, определить признаки устройства и составить таблицу бинарных отношений между признаками. Нарисовать граф-схему формулы изобретения. Оценить силу формулы изобретения при помощи грубой и уточненной оценок. Пример выполнения приведен в параграфе 1.3.4. [1].

1.10. В программной среде «Матлаб» смоделировать процесс мышления по шагам решения изобретательской задачи.

а) Процесс распада прототипа в техническое противоречие смоделировать уравнениями аттрактора Лоренца. Начальные условия на координаты x, y, z установить в соответствии с вариантом задания. Варианты начальных условий приведены в п.2.3. Уравнения аттрактора Лоренца приведены в параграфе 2.3.2 [1]. Графики изменения координат и мощностей гомеостаза в аттракторе Лоренца для одного из вариантов приведены в приложении 4. По графикам изменения координат решить, в какой момент распадается гомеостат прототипа, т.е. когда остаются две координаты двух противоположных свойств технического противоречия. В этот момент программно перейти к системе уравнений (2.1) и (2.2) системы мысленного слежения [1] и получить графики нарастания противоречивых свойств по кривым развития (рис. 2.1а) [1], т.е. режим поиска решения в сознании.

б) Далее смоделировать режим обнаружения, опознавания и «захвата» решения (параграф 2.2.2.[1]) по системе уравнений (2.7), (2.8), (2.9) аттрактора Ресслера [1], т.е. программно переключиться с одной системы уравнений на другую. Получить графики, подобные приведенным на рис. 2.7 [1], выбрать момент «захвата» и переключиться на систему уравнений (2.3)-(2.5) [1]. Получить графики, подобные графикам на рис.2.8 [1]. Определить установившийся режим для всех трех координат.

1.11. Исследовать хаотические гомеостаты Рёсслера и Лоренца. Определить стационарные точки и их характер, построить их в трехмерном пространстве. Найти те стационарные точки, в которые переходят аттракторы при моделировании мышления в п. 10, а также, из которых они уходят. Пример выполнения приведен в 2.3.2. [1]. Для более подробного знакомства со странными аттракторами можно использовать [6].

1.12. Найти физическое свойство X -элемента, используя систему кинематических величин Р.О. Бартини, а также анализ наиболее нагруженного элемента структуры из п.2.1.5. Пример выполнения для задачи о запайке ампул с лекарством приведен в параграфе 3.1.6 [1], а также в п. 2.4.

1.13. Определить решение, при котором происходит смена представлений, а также его ресурсоемкость. Сравнить ее с ресурсоемкостью других решений на родительском тренде. Ресурсоемкость определить в действительном и комплексном базисе системы Бартини. Использовать материал разделов 3.2.1. и 3.2.2. [1].

1.14. Составить схему имитационного моделирования информационно-энергетической схемы в ЛТ-базисе Бартини. Определить передаточные матрицы элементов схемы и оценить их ресурсоёмкость и всей схемы в целом.

Использовать материалы статьи [10, 11].

2. Некоторые примеры выполнения домашнего задания

В этом разделе приведены указания и ссылки на литературу для выполнения наиболее сложных пунктов домашнего задания.

2.1. Топологический анализ структуры прототипа с помощью теории графов. Указания к п. 1.3.

В этом пункте задания необходимо составить конструктивно-функциональную схему прототипа в виде графа и соответствующей матрицы конструктивно-функциональной схемы. При выполнении пункта использовать материал параграфа 1.1.1 [1], а также пример [2]. Для более подробного знакомства с теорией графов можно использовать главу 2 [7].

Конструктивно-функциональная схема (КФС) устройства является моделью работы системы, поясняющая его принцип действия. Студент по словесному описанию прототипа и чертежу разбивает техническую систему на основные элементы и указывает стрелками действия, которые совершает один элемент по отношению к другому.

Далее производится анализ структуры, заключающийся в следующих действиях:

- 2.1.1. провести анализ элементов и связей
- 2.1.2. определить степень связности
- 2.1.3. проанализировать функциональные преобразования
- 2.1.4. определить диаметр структуры
- 2.1.5. определить наиболее нагруженный элемент

Приведем пример студентки Овечкиной Н.С. выполнения топологического анализа для изобретения «Температурный датчик».

Устройство состоит из трубы с горячей водой, которая попадает в очистительный фильтр. После фильтра на трубе с помощью хомутов и термопасты закрепляется термомодатчик. Электрический сигнал с термомодатчика поступает на микроконтроллер, а затем на привод задвижки, регулирующей расход горячей воды на отопление.

При работе температурного датчика нежелательным эффектом является неточность измерения. Плохой контакт с трубой в хомутах крепления датчика, температура окружающей среды, влияют на точность измерения, иногда из-за

этого происходят аварийные ситуации: разрыв труб в теплосети, недостаточное отопление в жилых домах.

КФС структуры прототипа представлена на рис. 2.1.

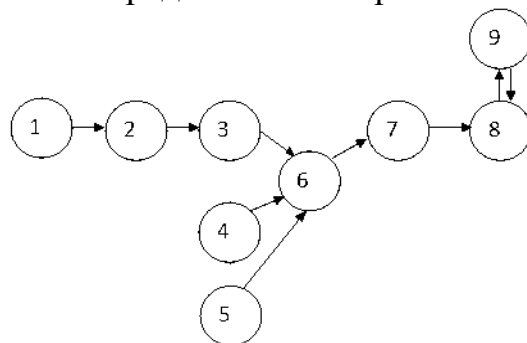


Рисунок 2.1. Конструктивно-функциональная схема

На схеме обозначены:

1. горячая вода
2. отделитель грязи
3. поверхность трубы
4. термопаста
5. окружающая среда
6. термодатчик
7. микроконтроллер
8. привод регулировки задвижкой
9. задвижка

Бинарные отношения элементов (действия друг на друга):

- 1-2 – передача потока горячей воды или просто поток горячей воды
- 2-3 – очищение воды
- 3-6 – теплоотдача датчику температуры
- 5- 6 - охлаждение термодатчика окружающей средой
- 4-6 – контакт датчика с теплоносителем
- 6-7 – сигнал с термодатчика на микроконтроллер
- 7-8 – управляющий сигнал с микроконтроллера на привод регулировки задвижкой
- 8-9 - сигнал привода на регулировку задвижки
- 9-8 – сигнал обратной связи.

Составляя схему, необходимо учитывать полезные и вредные действия элементов структуры друг на друга. Схема составляется произвольно, главное, чтобы она отражала принцип действия устройства. У разных исследователей модели одного и того же прототипа могут получиться разными. Зависит это от степени подробности схемы. Чем более подробно составляется схема, тем больше

возможностей получить новые решения, но трудоёмкость анализа возрастает, и возможности получения новых решений падают.

При анализе схемы необходимо обнаружить особые элементы:

1. изолированные (не инцидентные¹ ни одной из связей);

2. входные (в которые нельзя попасть ни из одного другого элемента);

3. выходные (из которых нельзя попасть в другие элементы).

Отыскание этих элементов проведем по матрице смежности² ${}^o\mathbf{A} = \mathbf{a}_{i,j}^o$, по которой для каждого элемента $\mathbf{k} = \mathbf{1}, \mathbf{n}$ (где \mathbf{n} число элементов в топологической структуре) определяется вектор $\mathbf{a}(\mathbf{k}) = (\mathbf{a}_k, \mathbf{a}^k)$ с компонентами:

$$\mathbf{a}_k = \sum_{i=1}^n a_{ki}, \quad \mathbf{a}^k = \sum_{j=1}^n a_{jk}$$

т.е. \mathbf{a}_k - сумма элементов \mathbf{k} -й строки матрицы, \mathbf{a}^k - сумма элементов \mathbf{k} -ого столбца. Величина \mathbf{a}_k определяет число связей, выходящих из \mathbf{k} -го элемента, а величина \mathbf{a}^k определяет число связей, входящих в него. Если $\mathbf{a}_k = \mathbf{a}^k = \mathbf{0}$, то элемент \mathbf{k} изолирован.

$\mathbf{A} =$	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a_k
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	a^k	0	1	1	0	0	3	1	2	1	9

¹ Связи, входящие или исходящие из элемента a , называются инцидентными элементу a .

² Элементы называются смежными, если они: 1) различны, 2) существует связь между ними.

2.1.1. Анализ связей

1. Петли (наличие связи между входом и выходом одного и того же элемента) – в этой структуре нет (простейший признак этого - отсутствие единицы на главной диагонали матрицы), рис. 2.2.



Рисунок 2.2. Петля в графе

2. Контур – это чередующаяся последовательность элементов **a** и связей **u**, в которой начальный и конечный элемент совпадает при условии $k > 2$ (рис. 2.3). В структуре (рис.2.1) контуров нет,

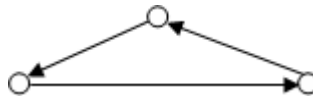


Рисунок 2.3. Контур в графе

3. Определение связных подструктур производится по пересечению множеств: $\mathbf{B}(i) = \mathbf{B}_i \mathbf{V}^i$, где \mathbf{B}_i - множество элементов структуры, которые можно достичь по связям из данного элемента **i**. \mathbf{V}^i - множество элементов структуры, из которых можно достичь элемент **i**, рис. 2.4.

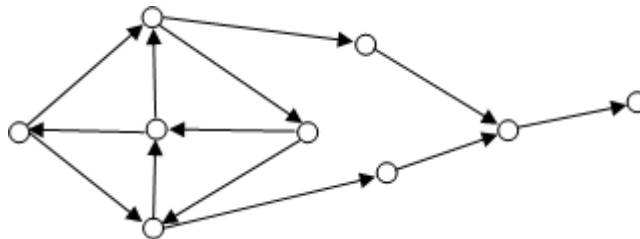


Рисунок 2.4. Определение связных подструктур

Это пересечение содержит элементы, принадлежащие одной из связанных подструктур. Для того, чтобы найти разбиение множества на связанные подструктуры, надо последовательно перебирать все элементы **i** (табл.1).

Связанные подструктуры можно интерпретировать как подсистемы КФС или как подробно раскрытые понятия. И то и другое для упрощения КФС можно свернуть в один элемент. Кроме того, выгодно свертывать те участки структуры, где имеются петли и контуры.

Таблица 1. Анализ связанных подструктур

Пересечение	Кол-во общих элементов (кроме своего №)
$B(1) = \{1,2,3,6,7,8,9\} \cap \{1\} = \{1\}$	0
$B(2) = \{2,3,4,6,7,8,9\} \cap \{2\} = \{1,2\}$	0
$B(3) = \{3,4,6,7,8,9\} \cap \{3\} = \{1,2,3\}$	0
$B(4) = \{4,6,7,8,9\} \cap \{4\} = \{1,2,3,4\}$	0
$B(5) = \{6,7,8,9\} \cap \{6\} = \{1,2,3,4,6\}$	0
$B(6) = \{7,8,9\} \cap \{7\} = \{7,8,9\}$	0
$B(7) = \{8,9\} \cap \{8\} = \{8,9\}$	1
$B(8) = \{4, 6,7,8,9\} \cap \{9\} = \{8,9\}$	1
$B(9) = \{5,6,7,8,9\} \cap \{5\} = \{5\}$	0

Единственной связной подструктурой можно считать симметрический подграф (8-9), его и необходимо свернуть в один элемент. Полученная после этого структура представлена на рис.2.5.

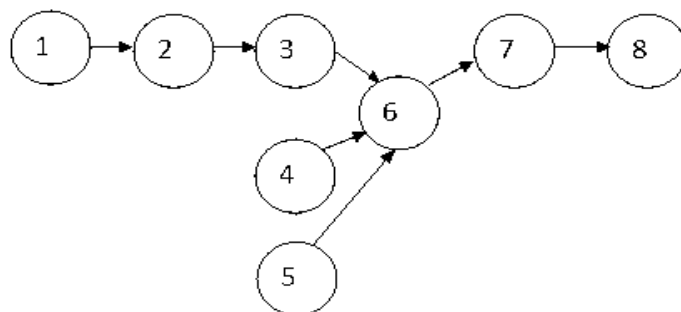


Рисунок 2.5. Свертывание связных подструктур

2.1.2. Определение степени связности

При оценке элементной связности определяется наименьшее количество элементов, удаление которых из структуры приводит к несвязной структуре, содержащей изолированные элементы.

Эта операция имеет двойное значение:

- 1)нахождение элементов, удаление которых не отражается на КФС;
- 2)нахождение элементов, удаление которых ведет к наиболее полному (радикальному) распаду КФС.

Здесь же необходимо найти один главный (наиболее значимый для КФС) элемент. В итоге нужно получить минимально необходимую и достаточную КФС.

Ранжирование элементов по важности представлено в табл. 2.

Таблица 2. Ранжирование элементов КФС

удаляемый элемент	кол-во образовавшихся осколков ИС (изолированные эл-ты и структуры)	отметка важности (-) - можно удалять (+) - важный для ИС (++) - главный эл-т
1	1	+
2	0	-
3	2	++
4	4	++
5	1	+
6	3	++
7	1	+
8	0	-

Без удаляемых элементов получаем новую структуру, представленную на рис. 2.6.

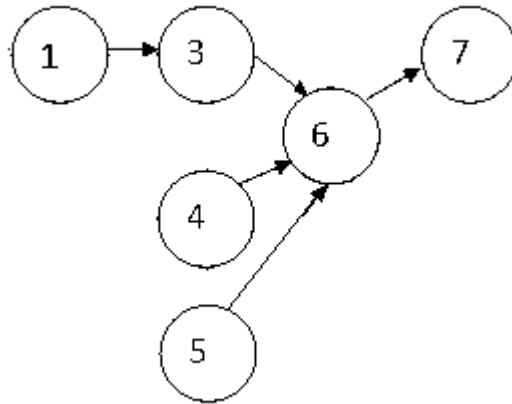


Рисунок 2.6. Минимально необходимая и достаточная структура

2. При оценке связности по действиям определятся наиболее важное действие, удаление которого приводит к устранению конфликта.

Опрос пользователя: главное действие - (3-6) – контакт датчика с теплоносителем.

3. Оценка избыточности связности. Если R - количество действий (связей), а n - количество элементов, то минимально необходимое число связей для связности структуры должно быть:

$$R_{\min} = n - 1.$$

Тогда степень избыточности связности:

$$g = \frac{R - R_{\min}}{R_{\min}} = \frac{R}{n - 1} - 1$$

Для исходной структуры:

$$g = \frac{9}{9 - 1} - 1 = 0,125$$

Для полученной структуры:

$$g = \frac{5}{6 - 1} - 1 = 0$$

При $g = 0$ получаем минимально неизбыточную структуру, при $g \geq 1$ имеем сильно связную избыточную структуру. При преобразовании исходной структуры необходимо стремиться к показателю $g = 0$.

2.1.3. Анализ функциональных преобразований

Элементарная цепочка функциональных преобразований (или минимальная КФС):

RO (источник операции) → **O** (операция) → **OO** (объект операции) → **R** (результат).

Логический смысл формулы заключается в том, что **X** действует на **У**, в результате чего получается **P**.

Таких цепочек три:

1 – 3 – 6 – 7

4 – 6 – 7

5 – 6 – 7

(6 - главный функционер).

Таблица 3. Смысловой анализ цепочек

высказывание	оценка
1 нагревает 3, 3 передает свое тепло на датчик 6, 7 обрабатывает информацию с 6	верно
4 улучшает работу на 6, 6 передает данные на 7	верно
5 воздействует на 6, 6 передает данные на 7	верно

Необходимо сократить первую цепочку до трех элементов. Здесь 7 - *результат* (продукция), 6 - изделие, следовательно, надо выбрать, что из элементов 1,3,4,5 является в этих цепочках *инструментом* для элемента 6. В результате получаем новый набор цепочек: 1-6-7; 3-6-7; 4-6-7; 5-6-7 (рис. 2.7).

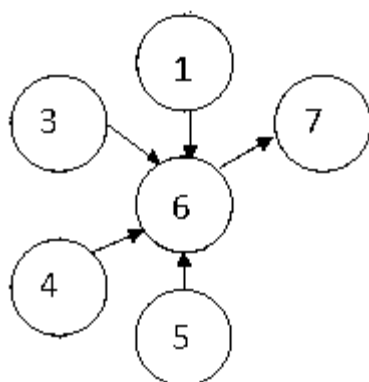


Рисунок 2.7. Смысловый анализ цепочек

С точки зрения вепольного анализа мы получили структуру, представляющую вредный, плохо работающий веполь. Она отражает нежелательный эффект системы, и наша цель – устранить этот эффект или не допускать его образования.

2.1.4. Определение диаметра структуры

Пусть d_{ij} - длина минимального пути между входным элементом i и выходным j , равная числу действий, составляющих этот путь. Тогда, если I и J - множества входных и выходных элементов структуры, то диаметр структуры

$$d = \max d_{ij}, \quad i \in I, j \in J$$

характеризует максимальное число связей, разделяющих входные и выходные элементы - наибольшая длина причинно-следственной цепочки. Для исходной КФС: $d = 6$ (путь 1-2-3-6-7-8-9). Для полученной КФС: $d = 2$ (например, путь 1-6-7). Для перехода к схеме конфликта необходимо получить $d = 1$.

2.1.5. Определение полюса действий - наиболее нагруженного элемента

Полюсом действия или просто полюсом называется элемент, инцидентный более чем двум связям,. Явный полюсный элемент (6). Получили однополюсную ориентированную структуру (рис.2.7). Показатель полюсности $V(6)=5$ (пять связей).

Определим, есть ли полюс в исходной схеме.

$V(1)=1, V(2)=2, V(3)=2, V(4)=1, V(5)=1, V(6)=4, V(7)=2, V(8)=3, V(9)=2$ – имеем один полюс с показателем 4, и один полюс – с показателем 3 (двухполюсная схема). Можно сделать вывод, что конфликт в исходной схеме был сосредоточен в двух местах.

Элемент 6 со своими связями образует так называемое «узкое» место структуры, место наиболее сильного конфликта. Разрешение конфликта возможно с помощью АРИЗ или вепольного анализа.

2.2. Составление потоково-информационной схемы с операциями Р.Коллера. Указания к п. 1.4.

При выполнении пункта использовать материал параграфа 1.1.2 [1] и пример выполнения, приведенный в параграфе 2 главы 2 [3].

2.2.1. Типовые операции Коллера

Метод Р.Коллера предполагает, что при составлении конструктивно-функциональной или потоково-информационной схем все операции, которые один элемент совершает над другим, т.е. бинарные отношения, ограничиваются 12 парами отношений. Таким образом, любые действия стандартизируются. Список таких действий приведен в таблице 5.

Например, для системы автоматической посадки самолетов на корабль, рассмотренной в учебном пособии [1], введены следующие функции:

- Ф01 – корабль E0 принимает самолет E1,
- Ф02 – корабль E0 несет на себе локатор E2,
- Ф03 – корабль E0 несет на себе ЭВМ E3,
- Ф04 – корабль E0 несет на себе радиоканал E4 (точнее, его передающую часть),
- Ф05- корабль E0 выдает информацию о качке на ЭВМ E3,
- Ф21- локатор E2 измеряет координаты самолета E1,
- Ф22 – локатор передает координаты на ЭВМ E3,
- Ф31- ЭВМ E3 обрабатывает координаты и передает сигнал управления в радиоканал E4,
- Ф41- радиоканал E4 передает сигнал управления на самолет E1,
- V51- спутная струя E5 сбивает самолет E1 с необходимой траектории

Таблица 4. Операции Коллера

№	Операции	Обобщенная структурная формула	Обратные операции	Обобщенная структурная формула
1	Излучение	$G_A \leftrightarrow$	Поглощение	$G_A \nleftrightarrow$
2	Проводимость	$G_A \rightarrow G_A$	Изолирование	$G_A \rightarrow $
3	Сбор	$G_A^* \rightarrow \bar{G}_A$	Рассеивание	$\bar{G}_A \rightarrow G_A^*$
4	Проведение	$G_A \rightarrow G_A$	Непроведение	$G_A \dashrightarrow G_A$
5	Преобразование	$G_A \rightarrow G_B$	Обратное преобразование	$G_B \rightarrow G_A$
6	Увеличение	$G_{A1} < G_{A2}$	Уменьшение	$G_{A1} > G_{A2}$
7	Изменение направления	$G_A \uparrow G_A$	Изменение направления	$G_A \downarrow G_A$
8	Выравнивание	$\overleftrightarrow{G}_A \rightarrow \vec{G}_A$	Колебания	$\vec{G}_A \rightarrow \overleftrightarrow{G}_A$
9	Связь	$G_A \overleftrightarrow{\circ} G_A$	Прерывание	$G_A \overleftarrow{\circ} G_A$
10	Соединение	$G_A + G_B \succ G_{AB}$	Разъединение	$G_{AB} \prec G_A + G_B$
11	Объединение	$G_{A1} + G_{A2} \succ G_{A1+A2}$	Разъединение	$G_{A1+A2} \prec G_{A1} + G_{A2}$
12	Накопление	$G_A \rightarrow \circ$	Выдача	$\circ \rightarrow G_A$
13	Отображение	$G_A \rightarrow i$	Обратное отображение	$i \rightarrow G_A$
14	Фиксирование	$G_A \rightarrow \circ \leftarrow G_A$	Расфиксирование	$G_A \leftarrow \circ \rightarrow G_A$

Функция Ф01 в терминах операций Коллера может быть представлена как накопление, т.е. корабль как бы «накапливает» самолеты, садящиеся на палубу. Функции Ф02 – корабль E0 несет на себе локатор E2, Ф03 – корабль E0 несет на себе ЭВМ E3, Ф04 – корабль E0 несет на себе радиоканал E4, можно рассматривать как операции проведение, т.е. корабль проводит указанные устройства по морю. Функция Ф05- корабль E0 выдает информацию о качке на ЭВМ E3, может рассматриваться как выдача, т.е. обратная накоплению. Функция Ф21- локатор E2 измеряет координаты самолета E1, может рассматриваться как операция сбора, т.е. локатор собирает информацию о траектории самолета. Функцию Ф22 – локатор передает координаты на ЭВМ E3, можно представить

как преобразование, поскольку координаты как некоторые физические величины преобразуются в цифровой код для работы ЭВМ. Аналогично можно подобрать подходящие операции и для других функций.

Для потоково-информационной схемы посадки самолета (рис. 1.3 в [1]) самолет и ЭВМ совершают операцию преобразования, а корабль – операцию выдачи информации о качке.

Более подробно с операциями Р. Коллера можно познакомиться в [3].

2.3. Моделирование процесса мышления по шагам решения изобретательской задачи. Указания к п. 1.10.

Начальные условия для моделирования аттракторов Лоренца и Рёсслера выбираются из таблицы 5 в соответствии с номером варианта задания.

Таблица 5. Начальные условия на интеграторы

№ п/п	x	y	z
1	1	-2	0
2	2.5	-3	1
3	4.8	5.9	-5.1
4	-4	-7.1	-2.6
5	-5.2	3.4	5.1
6	-4.7	0.7	6.9
7	-4.8	-3.9	2.1
8	0	4	-2.5
9	-2	5.1	1.2
10	-3	-2.6	2.5
11	5.9	5.1	4.8
12	-7.1	6.9	-4.6
13	-2.2	-2.6	4.8

14	-3.7	5.1	-4.7
15	5.9	-6.3	-5.2
16	-7.1	2.1	4.4
17	3.4	-2.5	-4.8
18	0.7	-4.7	-3
19	-3.9	-4.8	5.9
20	4.3	0	-7.1
21	5.1	-2.5	3.4
22	-2.6	-3.3	7.9
23	-5.1	0.8	1.8
24	6.1	-2	-4.7
25	6.9	-3	-2.8
26	2.1	5.9	-1
27	-2.5	-7.1	2
28	1.2	6.9	-3
29	2.5	2.1	4.9
30	4.8	-2.5	3.4
31	-4.6	-1.2	0.7
32	6.9	2.8	-3.9
33	2.1	4.8	4
34	-2.5	-4.3	5.1
35	1.2	3.4	0
36	2.5	-0.7	0.7

37	4.8	-3.9	-0.8
38	-4.6	-4	5.9
39	-0.3	5.1	-7.1
40	-3.9	-3.7	5.9
41	5.9	5.2	2.1
42	-7.1	-3.1	-2.5
43	3.4	-3.4	0
44	-0.7	0.7	-2.5
45	6.7	-3.9	-1.2
46	5.8	-4.4	2.5
47	2.8	-2.2	-4.8
48	-7.8	4.8	-2.5
49	-4.3	-4.3	1.2

Графики изменения координат и мощностей в аттракторе Лоренца приведены на рис. 2.8. и 2.9.

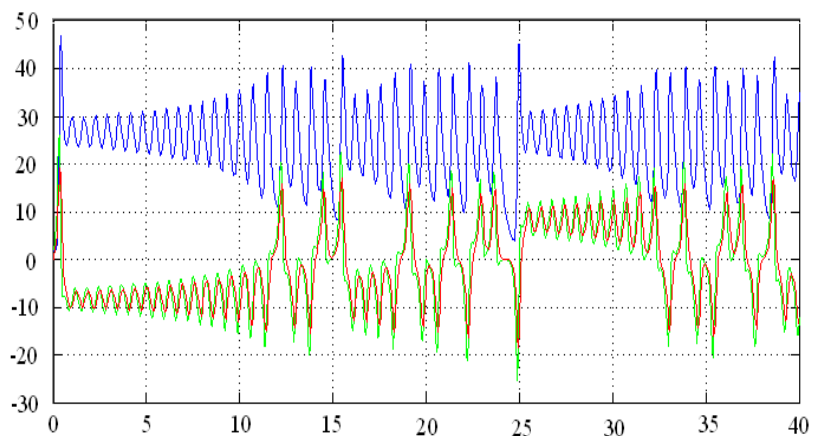


Рисунок 2.8. Графики координат x, y, z в аттракторе Лоренца

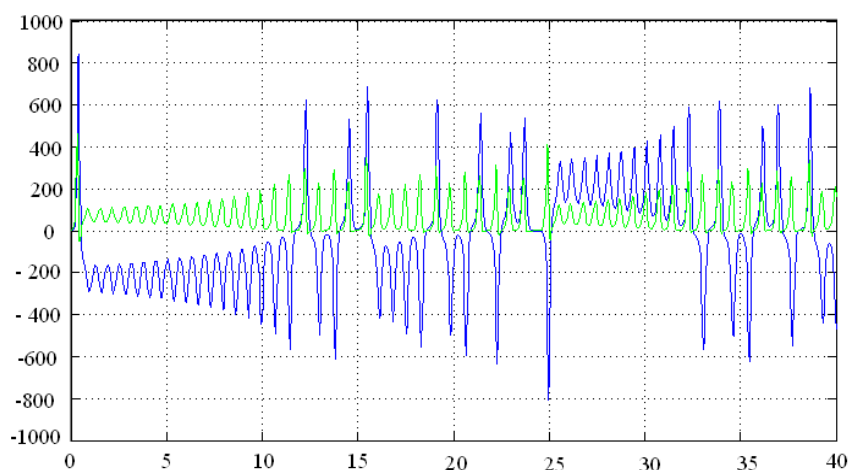


Рисунок 2.9. Графики мощностей гомеостаза P_{xz} , P_{uz} в аттракторе Лоренца

2.4. Определение физического свойства решения изобретательской задачи при помощи ЛТ-таблицы кинематических величин Р.Бартини. Указания к п. 1.10.

В качестве примера рассмотрим задачу Ю.П. Саламатова о линии электропередач [2] высокого переменного напряжения. Нежелательным эффектом в этой линии является ток утечки между изоляторами и опорной мачтой, появляющийся в условиях тумана и загрязнения воздуха. В результате анализа, подобного приведенному в п. 2.1.5, для этой задачи получена структура вредного веполя (рис. 2.10).

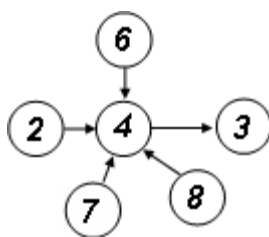


Рисунок 2.10. Структура вредного веполя

Обозначения на рис.2.11. приведены ниже.

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1-провод ЛЭП; | 1-2 -проводит |
| 2-электрический ток; | 2-3 -производит |
| 3-ток утечки; | 3-4 -течет |

4-электропро	4-5 -стекает
водный слой;	7-4 -держит
5-Земля;	6-7 -оседает
6-влага;	6-9 -испаряется
7-изолятор;	9-6 -производит
8-загрязнения;	9-8 -производит
9-атмосфера;	8-7 -оседает

Запишем простейшую логическую формулу задачи для физических свойств элементов, включив в нее всего два элемента: электропроводящий слой 4 и ток утечки 3. Элемент 4 – это наиболее нагруженный элемент структуры, а элемент 3 определяет выход, т.е. нежелательный элемент:

«И» электропроводность электропроводящего слоя должна быть хорошей, «И» величина тока утечки должна быть хорошей.

Тем самым мы следуем логике «И-И» Р.О. Бартини. Находим размерности физических величин в системе Бартини. Электропроводность в системе СИ измеряется в $(\text{ом}\cdot\text{м})^{-1}$, ток в амперах. В системе Бартини ампер имеет размерность L^3T^3 , размерность ома легко найти по размерностям напряжения и тока. Размерность электрического напряжения или разности потенциалов равна L^2T^2 , а размерность тока L^3T^3 . По закону Ома размерность ома равна отношению размерностей электрического напряжения и тока, т.е. $L^2T^2 / L^3T^3 = L^{-1}T^{-1}$, тогда размерность электропроводности равна $(\text{ом}\cdot\text{м})^{-1} = (L^{-1}T^{-1} \cdot L^1T^0)^{-1} = L^0T^1$.

По логике «И-И» перемножаем размерности электропроводности и тока утечки, и получаем размерность физической величины на родительском тренде (рис. 2.11.)

$$L^0T^1 \cdot L^3T^3 = L^3T^4$$

D.	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4
T^{-5}	$L^{-1}T^{-5}$	L^0T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощность	L^4T^{-5}
T^{-4}	$L^{-1}T^{-4}$	L^0T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Давление Напряжение	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила
T^{-3}	$L^{-1}T^{-3}$	L^0T^{-3}	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля Вязкость	Ток Массовый расход	Импульс
T^{-2}	Изменение электр. объемной плотности	Угловое ускорение Массовая плотность	Линейное ускорение	Разность потенциалов		
T^{-1}	Электр. объемная плотность	Частота Угловая скорость	Линейная скорость			
T^0	Кривизна Изменение проводимости					

Рисунок 2.11. Определение родительского тренда

Тренд выделен серым цветом, сумма показателей степеней для L и T равна $S_{n+m}=3-4=-1$. Находим возможные решения на тренде. Первое – поверхностное натяжение. Электропроводный слой представляет капельки жидкости, осаждающиеся на изоляторах. Решение подсказывает ответ, сила поверхностного натяжения этих капелек должна быть вполне определенной и постоянной. А сила эта зависит от свойств границ раздела жидкость/ изолятор, а также жидкость/ воздух. Проще всего изменять поверхностные свойства изолятора, например, покрывать его водоотталкивающим покрытием, или изготавливать из материалов, не смачивающихся жидкостью.

Следующая клетка при движении по родительскому тренду дает две физические величины: напряженность электромагнитного поля и вязкость. Эта клетка подсказывает такое решение: напряженность поля тока утечки должна быть также постоянной и какой-то определенной. Конечно, менять её можно, если изменять напряженность тока в ЛЭП, что может оказаться недопустимым.

Свойство вязкости можно отнести к капелькам электропроводящего слоя. Очевидно, вязкость атмосферной влаги недостаточна для снижения тока утечки. Следовательно, электропроводящий слой надо заменять более вязкой жидкостью. Такое решение для высоковольтного оборудования известно, например,

высоковольтные трансформаторы заливаются специальным изолирующим машинным маслом.

Следующие две клетки тренда – линейное ускорение и частота. Линейное ускорение к току приложить сложно, необходимо замедлять электроны в электропроводном слое, т.е. менять проводимость капелек влаги. А к самому слою, к капелькам жидкости, можно приложить постоянную механическую силу $F=m \cdot a$, где m – масса капелек, a – ускорение. Очевидно, этот процесс связан с протираанием изолятора сухим материалом для удаления влаги. Свойство «частота» подсказывает, что электропроводный слой можно подвергать колебаниям, что эквивалентно встряхиванию. Кроме того, теория подсказывает, что возможно изменение частоты переменного тока ЛЭП, хотя это может оказаться и нереализуемым.

Смена представлений, т.е. качественное изменение решения происходит на четвертом шаге движения по тренду. Появляются свойства «кривизна» и «изменение проводимости». Свойство кривизны означает какое-то решение на геометрическом уровне, а не физическом. Необходимо изменять геометрию электропроводного слоя в целом, что может быть связано с другой формой изолятора, а также возможно уменьшать размеры капелек влаги.

Изменение проводимости предполагает, что проводимость электропроводного слоя должна быть переменной, а не постоянной, и меняться во времени и/или в пространстве. Естественно, в пределе она должна стремиться к нулю и быть управляемой в зависимости от каких-то других параметров.

Приложение. Варианты домашних заданий

№ п/п	№ патента	Название изобретения
1	RU 2328704	Индуктивный уровнемер
2	RU 2307332	Микробарограф
3	RU 2289785	Емкостной датчик для измерения угловых перемещений
4	SU 1825091	Индуктивный датчик угла наклона
5	SU 1827610	Гигрометр
6	SU 1714366	Датчик угла наклона
7	SU 1725070	Емкостной датчик перемещений
8	SU 1778565	Датчик давления
9	SU 1627818	Устройство для измерения неэлектрических величин

10	SU 1551957	Устройство для измерения геометрических параметров изделий типа трубы
11	RU 2397443	Датчик угла наклона
12	RU 2404437	Магнитоупругий линейный акселерометр
13	RU 2427008	Статический гравиметр
14	RU 2434211	Датчик давления жидкости и газа
15	RU 2454645	Устройство для измерения виброускорений
16	RU 2455548	Регулятор расхода жидкостей
17	RU 2391626	Способ измерения линейного перемещения и устройство для его реализации
18	RU 2370794	Гравиметр
19	SU 1474491	Устройство для динамических испытаний датчиков импульсного давления
20	RU 2289785	Емкостной датчик измерения угловых перемещений
21	SU 1642284	Датчик давления
22	SU 687351	Устройство для измерения давления на грунт
23	SU 1788497	Электромагнитное силовое устройство
24	SU 488098	Гидростатический силоизмеритель
25	SU 557264	Устройство для контроля шероховатости поверхности объекта
26	SU 1283697	Сканирующее устройство

Литература

1. А.Б. Бушуев. Применение методов технического творчества в инновационной деятельности. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – с. 7-12.
2. Ю.П. Саламатов. Концепция превращения АРИЗ с систему искусственного интеллекта. Раздел 6. Топологический анализ исходных изобретательских ситуаций/ Деп. в ЧОУНБ 19.12.2002 № 2842. 7 с
<http://rus.triz-guide.com/1655.html>
3. А.И. Половинкин. Основы инженерного творчества, 6 издание – Изд.Лань, 2018. – 364 с.
4. А.Б. Бушуев, Математическое моделирование процессов технического творчества – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 306 с.
5. Г.С. Альтшуллер, Б.Л.Злотин, А.В.Зусман, В.И.Филатов. Поиск новых идей. От озарения к технологии. – Кишинев: Картя Молдовеняске, 1989. – 381 С.
6. Странные аттракторы: Сборник статей// Под ред. Я.Г.Синяя и Л.П.Шильникова. – М.: Мир, 1981. – 253 С.
7. Ф.С. Робертс. Дискретные математические модели с приложением к социальным, биологическим и экологическим задачам/ Пер. с англ. А.М.Раппорта, С.И. Травкина. Под ред. А.И. Теймана. – М.: Наука, 1986. – 496 С.
8. А.Б. Бушуев. Математика, ТРИЗ, Бартини и кое-что еще.
<http://www.metodolog.ru/01277/01277.html>
9. Alexandr V. Bushuev. Physico-Mathematical Search of Resources/ The TRIZ Journal. January, 2008.
<http://www.triz-journal.com/archives/2008/01/02/>
10. А.Б.Бушуев, В.А. Петров. Имитационное моделирование систем управления в LT-базисе // Восьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД-2017). СПб 18-20 октября 2017. Труды конференции. секция с. 88-93
<http://simulation.su/uploads/files/default/2017-immod-88-93.pdf>
11. Бушуев А.Б, Тюрин А.И. Информационно-энергетические схемы в изобретательской практике. // Доклад на XIV научно-практическая конференция «ТРИЗ в развитии» TDS -2018, СПб, 2018.

<http://triz-summit.ru/confer/tds-2018/articles/>

Бушуев Александр Борисович
Литвинов Юрий Володарович

**Функционально-структурное моделирование технических систем
Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н. Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49