

2005 выпуск №2



ДОКЛАДЫ
НЕЗАВИСИМЫХ
АВТОРОВ

Периодическое многопрофильное научно-техническое издание

▶ Алгоритмы и программирование

▶ Математика

▶ Физика и астрономия

▶ Философия и религия

▶ Электротехника

▶ Энергетика

Доклады Независимых Авторов

Периодическое многопрофильное научно-техническое издание

Выпуск №2

Алгоритмы и программирование

Математика

Физика и астрономия

Философия и религия

Электротехника

Энергетика

Россия - Израиль
2005

The Papers of independent Authors

(volume 2, in Russian)

Russia - Israel
2005

Copyright © 2005 by Publisher “DNA”

Все права (авторские и коммерческие) на отдельные статьи принадлежат авторам этих статей. Права на журнал в целом принадлежат издательству «DNA».

All right reserved. No portion of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, without written permission of Publisher and Authors.

Дизайн – Дубсон И.С.

Техническое редактирование - Хмельник С.И., Дубсон И.С.

Отправлено в печать 17 октября 2005 г.

Напечатано в США, Lulu Inc., каталожный № 172756

ISBN 1-4116-5956-2

Сайт со сведениями для автора - <http://dna.izdatelstwo.com>

Контактная информация - publisher-dna@hotmail.com

Факс: +972-8-8691348

Адрес: ПОВ 15302, Bene-Ayish, Israel, 79845

Форма ссылки: *Автор. Статья*, «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 2.

От издателя

"Доклады независимых авторов" - многопрофильный научно-технический печатный журнал на русском языке. Журнал принимает статьи к публикации из России, стран СНГ, Израиля, США, Канады и других стран. При этом соблюдаются следующие правила:

- 1) статьи не рецензируются и издательство не отвечает за содержание и стиль публикаций,
- 2) автор оплачивает публикацию,
- 3) журнал регистрируется в международном классификаторе книг ISBN, передается и регистрируется в основных библиотеках России, библиотеке Конгресса США, национальной и университетской библиотеке Израиля,
- 4) приоритет и авторские права автора статьи обеспечиваются регистрацией журнала в ISBN,
- 5) коммерческие права автора статьи сохраняются за автором,
- 6) журнал издается в США,
- 7) журнал продается в интернете и в тех магазинах, которые решат его приобрести, пользуясь указанным международным классификатором.

Этот журнал - для тех авторов, которые уверены в себе и не нуждаются в одобрении рецензента. Нас часто упрекают в том, что статьи не рецензируются. Но институт рецензирования не является идеальным фильтром - пропускает неудачные статьи и задерживает оригинальные работы. Не анализируя многочисленные причины этого, заметим только, что, если плохие статьи может отфильтровать сам читатель, то выдающиеся идеи могут остаться неизвестными. Поэтому мы - за то, чтобы ученые и инженеры имели право (подобно писателям и художникам) публиковаться без рецензирования и не тратить годы на "пробивание" своих идей. Как выразился французский министр культуры Renaud Donnedieu de Vabres, "мы только хотим, чтобы все люди имели возможность распространять влияние своих собственных талантов".

Хмельник С.И.

Содержание

Алгоритмы и программирование \ 6

Гельфанд А.М., Хмельник С.И. (Россия, Израиль). Цифровая фильтрация многомерных взаимосвязанных нестационарных процессов \ 6

Зайцев И.Б. (Россия). Методика «наивного» байесовского классификатора для задачи совместной фильтрации в системах рекомендации \ 20

Математика \ 28

Недосекин Ю.А. (Россия). Иллюстрация полисистемного метода решения неоднородной системы линейных алгебраических уравнений \ 28

Хмельник С.И. (Израиль). Уравнение Пуассона и квадратичное программирование \ 47

Физика и астрономия \ 64

Купряев Н.В. (Россия). К статье Н.В. Кравцова и В.В. Рагульского “Использование кольцевого лазера для исследования изотропии пространства” \ 64

Недосекин Ю.А. (Россия). Имитация “темной материи” \ 72

Недосекин Ю.А. (Россия). Неадекватное описание физической реальности квантовой теорией поля \ 74

Недосекин Ю.А. (Россия). Поле равномерно и прямолинейно движущегося электрического заряда \ 92

Недосекин Ю.А. (Россия). Природа пространства и физических полей \ 98

Недосекин Ю.А. (Россия). Энергия электрического поля \ 117

Философия и религия \ 129

Терехов В.Б. (Россия). Метафизика в науке: парадоксы картины мира \ 128

Электротехника \ 149

Хмельник С.И. (Израиль). Электрические цепи с бинарными потенциалами \ 149

Энергетика \ 166

Авдюнин Е.Г., Нестерчук Е.С., Магницкий В.А. (Россия). Моделирование струйных течений при сложных внешних условиях \ 166

Авдюнин Е.Г., Сергеев В.А., Коновалов А.В. (*Россия*).
Основы интенсификации наиболее энергоемких
технологических процессов \ 171

**Авдюнин Е.Г., Сергеев В.А., Сергеев А.В.,
Гильмутдинов А.Ю.** (*Россия*). Решение экологических
проблем при разработке энергосберегающих
мероприятий \ 176

**Капелович Б.Э., Хмельник С.И., Левшин А.Ю.,
Капелович Д.Б., Бененсон Е.Б.** (*Израиль, Украина*).
Эксплуатация энергетической паровой турбины \ 181

Об авторах \ 191

Серия: АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Гельфанд А.М., Хмельник С.И.

Цифровая фильтрация многомерных взаимосвязанных нестационарных процессов

Оглавление

1. Введение
 2. Многосвязные векторные случайные процессы.
 3. Структура оптимального фильтра.
 4. Классификация СПСП-фильтров
 - 4.1. Скалярные стационарные процессы.
 - 4.2. Скалярные нестационарные процессы.
 - 4.3. Несвязные векторные процессы.
 - 4.4. Векторный процесс со статической моделью первого типа
 - 4.5. Синхронные процессы.
 - 4.6. Первая статическая модель при нестрогих ограничениях
 - 4.7. Векторный процесс со статической моделью второго типа
 - 4.8. Векторный процесс с динамической моделью первого типа
 - 4.9. Векторный процесс с динамической моделью второго типа
 5. Фильтрация
 6. Методика разработки программ
 7. Заключение
- Литература

Аннотация

Рассматривается векторный случайный процесс со стационарными приращениями определенного порядка, компоненты которого линейно зависимы, то-есть в отсутствии помех компоненты векторного процесса связаны системой линейных уравнений – ограничений. Взаимозависимость случайных процессов может быть определена статической или динамической моделью. Ограничения могут выдерживаться строго или с заданной погрешностью. Предлагается метод позволяющий в этих условиях синтезировать структуру оптимального фильтра. Метод работает в том случае, когда отсутствует информация о статических свойствах сигнала и помехи.

Разработка расчетных программ может быть заказана авторам по адресу solik@netvision.net.il

1. Введение

В работах [1, 2, 3, 4] рассмотрены различные задачи синтеза оптимального дискретного фильтра для случайных последовательностей со стационарными приращениями заданного порядка (СПСП). В дальнейшем для краткости будем называть такие фильтры *СПСП-фильтрами*. Ниже указанные задачи обобщаются, дополняются и классифицируются. При этом излагаются только конечные результаты, необходимые инженеру, который проектирует некоторую систему управления, содержащую фильтры.

Для ситуации, характеризующейся нестационарностью измерений и *статической моделью* объекта управления, задача рассматривалась ранее на основе эмпирически введенной структуры фильтра и ее решение было сведено к определению значений параметров фильтра. Предлагаемый метод позволяет *синтезировать структуру оптимального фильтра*. Метод работает даже в том случае, когда отсутствует информация о статических свойствах сигнала и помехи. Установлено, в частности, что фильтр экспоненциального сглаживания является частным случаем предложенного и является оптимальным по сформулированному в работе критерию. Аналогов предложенному алгоритму не известно. Метод распространяется на *взаимозависимые* СПСП. Взаимосвязь между ними доставляет дополнительную информацию, которая повышает качество фильтрации. При известной структуре фильтра появляется возможность фильтрации таких процессов в системах реального времени.

Для *динамических систем* хорошо известен фильтр Калмана. По сравнению с ним предлагаемый метод имеет

- возможность определения параметров фильтра при отсутствии информации, необходимой для синтеза калмановского фильтра (знания об авто- и взаимнокорреляционных функциях сигналов и помех),
- существенно меньший объем вычислений в режиме on-line, благодаря более простой структуре синтезированного фильтра.

Кроме того, решение задачи в предлагаемой постановке с помощью теории калмановской фильтрации отсутствует.

Задача синтеза формулируется следующим образом. Рассматривается векторный случайный процесс со стационарными приращениями p -го порядка, компоненты которого линейно зависимы, то-есть в отсутствии помех компоненты векторного

процесса связаны системой линейных уравнений – ограничений. Эта система может быть статической или динамической. Ограничения могут выдерживаться строго или с заданной погрешностью. Необходимо синтезировать фильтр таким образом, чтобы эта зависимость сохранялась и для оценок сигналов. Эта задача решена в различных вариантах [1, 2, 3, 4] методами, используемыми для синтеза систем управления [5].

Смысл указанной постановки заключается в следующем. Пусть имеется функция времени $Z(t)$, у которой производная p -го порядка имеет малую величину $\Delta(t) \approx 0$. Фильтр формируется таким образом, чтобы во время фильтрации функции $Z(t)$ от помех, то-есть при вычислении оценки $L(t)$ этой функции, минимизировалась величина $(1 - \beta) \cdot \Delta(t) + \beta \cdot [Z(t) - L(t)]$, где β - весовой коэффициент и $0 \leq \beta \leq 1$.

2. Многосвязные векторные случайные процессы.

Далее рассматривается векторный СПСП- p со стационарными приращениями p -го порядка, компоненты которого линейно зависимы, т.е. в отсутствии помех система линейных уравнений, составляющих модель объекта управления, имеет вид $Model(Z) = 0$. Например, она может иметь вид $A \cdot Z = C$, где A – известная матрица, C – известный вектор. Ограничения могут выдерживаться с различной степенью строгости (в т.ч., строго). Необходимо синтезировать фильтр таким образом, чтобы эта зависимость сохранялась и для оценок сигналов. В каждый момент времени j для каждого i -го процесса наблюдается аддитивная смесь $Z_i(j)$ полезного сигнала и помехи. Эта смесь поступает на вход фильтра, выход которого обозначим через L_j . В результате синтеза формируется матрица B , не зависящая от времени. При известной матрице B фильтрация, то-есть вычисление оптимальной оценки $L_i(j)$, выполняется по формуле $L(j) = B \cdot W(j)$, где $W(j)$ - определенная вектор-функция от вектора измерений $Z(j)$ и значений векторов $Z(k)$ и $L(k)$ в прошлые моменты времени.

Итак, математическая модель объекта управления $Model(X) = 0$ определяет взаимосвязь между компонентами вектора измеряемых параметров. Компоненты векторного случайного процесса измерений, очевидно, также связаны этой зависимостью $Model(Z) = 0$. Эта взаимосвязь, с одной стороны, усложняет задачу фильтрации и структуру синтезируемого фильтра, но, с другой, - доставляет дополнительную информацию для повышения качества фильтрации. Ниже рассматриваются различные статические и динамические математические модели. Фильтрация выполняется таким образом, что модельные связи сохраняются для отфильтрованных значений, то-есть $Model(L) = 0$.

3. Структура оптимального фильтра.

Далее будут использоваться следующие обозначения:

i - номер компоненты векторов $Z_i(j)$, $0 \leq i \leq I$,

j - момент измерения векторов $Z_i(j)$, $0 \leq j \leq J$,

p - порядок приращения,

Δ^p - приращение p -го порядка,

M - математическое ожидание,

$0 \leq \beta_i \leq 1$ - весовые коэффициенты,

$L_i(j)$ - оптимальная оценка вектора $Z_i(j)$ в j -момент,

$E_i(j)$ - ошибка фильтрации вектора $Z_i(j)$ в j -момент, причем

$$E_i(j) = Z_i(j) - L_i(j). \quad (1)$$

Первое приращение дискретного случайного процесса

$$\Delta^1 Z(j) = Z(j) - Z(j-1).$$

Приращение старших порядков определяется по рекуррентным формулам

$$\Delta^{p+1} Z(j) = \Delta^p Z(j) - \Delta^p Z(j-1).$$

Случайный процесс $Z(j)$ с p -ми стационарными приращениями Δ^p характеризуется тем, что математическое ожидание

$$M(\Delta^{p+1} Z(j)) = 0.$$

При синтезе фильтра целесообразно стремиться к достижению аналогичного условия для сигнала на выходе фильтра, т.е.

$$M(\Delta^{p+1}L(j))=0. \quad (2)$$

Кроме того, необходимо стремиться к достижению условия

$$\bar{M}(E^2(j))=0. \quad (3)$$

В связи с этим принят следующий показатель качества фильтрации:

$$R = \bar{M} \sum_{i,j} [(1 - \beta_i)(\Delta^{p+1}L_i(j))^2 + \beta_i E_i^2(j)], \quad (4)$$

Структура фильтра не зависит от J . Поэтому при данных p и β_i он может быть синтезирован предварительно и использован в системах реального времени. Фильтр, оптимальный в смысле минимума показателя качества R , имеет вид

$$L(j) = B \cdot W(j), \quad (5)$$

где

B - матрица фильтра,

$W(j)$ - определенная вектор-функция от вектора измерений $Z(j)$ и значений векторов $Z(k)$ и $L(k)$ в прошлые моменты времени $k = j-1, j-2, \dots, j-p$; этот вектор имеет вид:

$$W(j) = \begin{pmatrix} \Delta^p Z(j) \\ \Delta^{p-1} Z(j) \\ \dots \\ \Delta^2 Z(j) \\ \Delta^1 Z(j) \\ Z(j) \\ L(j-1) \\ \Delta^1 L(j-1) \\ \Delta^2 L(j-1) \\ \dots \\ \Delta^{p-1} L(j-1) \\ \Delta^p L(j-1) \end{pmatrix} \quad (6)$$

Размерность этого вектора равна

$$G = 2 * p + 2. \quad (7)$$

4. Классификация СПСП-фильтров

В табл. 1 дана классификация случайных процессов и соответствующих им фильтров, а в табл. 2 приведены основные характеристики этих фильтров. Далее они описываются подробнее.

Таблица 1.

процесс					
стационарный		нестационарный			
1. скалярный		2. скалярный	векторный		
			3. простой (без модели)	многосвязный (см. ниже)	
Многосвязный векторный процесс					
Статическая модель			Динамическая модель		
Первая - при строгих ограничениях		6. Первая - при нестрогих ограничениях	7. Вторая	8. Первая	9. Вторая
4. Общий случай	5. Синхронные процессы				

В табл. 2 обозначено:

b - размерность матрицы B ,

I - размерность вектора измерений,

G – размерность вектора W – см. (7),

U – количество уравнений модели объекта,

S – данные для синтеза

Таблица 2.

№	Процесс	b	Фильтр	S
1	Скалярный стационарный процесс, фильтр экспоненциального сглаживания, $p=0, I=1$	2	(5), (7a)	β
2	Скалярный нестационарный процесс	G	(5)	p, β
3	Векторный процесс без модели	$[I]^*[G^*I]$	(5)	p, I, β
4	Векторный многосвязный процесс со статической моделью первого типа (8)	$[I]^*[G^*I+U]$]	(5)	$A, C, p,$ U, I, β
5	Синхронные процессы	$[I]^*[G^*I+U]$]	(5)	p, I, β
6	Векторный процесс со статической нестрогой моделью первого типа (8), (12)	$[I]^*[G^*I+U]$]	(5)	$A, D, p,$ U, I, β
7	Векторный процесс со статической моделью второго типа (13)	$[I]^*[G^*(I+U)]$	(14)	$A, p, U,$ I, β', β''
8	Векторный процесс с динамической моделью первого типа (16)	$[I]^*[G^*(I+U)+U]$	(17)	$A, p, U,$ I, β', β''
9	Векторный процесс с динамической моделью второго типа (19)	$[I]^*[G^*I+I]$	(5)	$A, p,$ I, β

4.1. Скалярные стационарные процессы.

В этом случае рассматривается единственный случайный процесс при $p=0, I=1$. Фильтр, оптимальный в смысле минимума показателя качества (4), имеет вид (5), где

$$W(j) = \left| \begin{array}{c} Z(j) \\ L(j-1) \end{array} \right|, B = |\beta \quad (1-\beta)|.$$

Таким образом,

$$L(j) = \beta \cdot Z(j) + (1-\beta)L(j-1) \tag{7a}$$

то-есть фильтр СПСП-0 совпадает с получившим широкое распространение фильтром экспоненциального сглаживания.

4.2. Скалярные нестационарные процессы.

В этом случае рассматривается единственный случайный процесс при $p>0, I=1$. Фильтр, оптимальный в смысле минимума показателя качества (4), имеет вид (5), где $G=2p+2$.

4.3. Несвязные векторные процессы.

Рассмотрим векторный случайный процесс с независимыми компонентами при $I > 1$. Очевидно, фильтр каждой компоненты синтезируется независимо. Если компоненты имеют одинаковые порядки, то может быть построена матрица B для векторного процесса в целом.

4.4. Векторный процесс со статической моделью первого типа

В этом случае статическая модель имеет вид

$$A \cdot Z(j) = C(j) \tag{8}$$

где

A - известная матрица размерностью $U * I$,

$C(j)$ - известный вектор, который может изменяться во времени,

U - количество уравнений модели и размерность вектора C .

В этом случае фильтр (5) принимает вид

$$L(j) = B \cdot W'(j), \tag{9}$$

где

$$W'(j) = \begin{bmatrix} W(j) \\ C(j) \end{bmatrix}, \tag{10}$$

то-есть размерность вектора $W'(j)$ равна $I * G + U$, где $G = 2p + 2$.

Размерность матрицы B фильтра (9) равна $[I] * [I * G + U]$.

Для отфильтрованных значений вектора соблюдается условие, аналогичное условию (8), т.е.

$$A \cdot L(j) = C(j) \tag{11}$$

Заметим, что матрица B не зависит от вектора $C(j)$. Поэтому

|| вектор $C(j)$ может изменяться во времени.

4.6. Синхронные процессы.

Синхронные процессы характеризуются тем, что между каждой парой процессов сохраняется зависимость

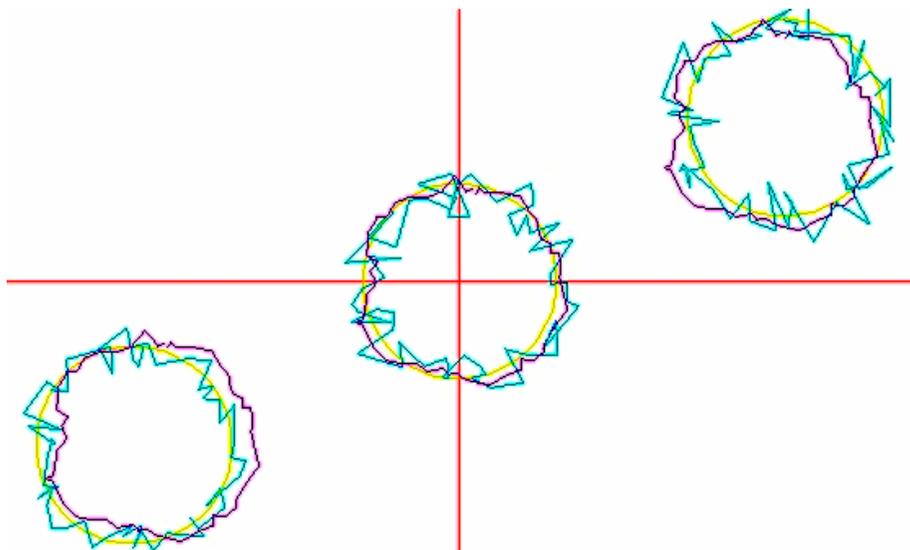
$$Z_a(j) - Z_b(j) = Y_k, \quad k = func(a, b).$$

Модель таких процессов является частным случаем первой статической модели, а матрица A и вектор C формируются автоматически при данном I . Например, при $I = 4$ имеем: $U = 10$. Заметим, что в этом случае матрица B не зависит от вектора $\{Y_k\}$. Поэтому

|| величины $\{Y_k\}$ могут изменяться во времени.

A						C
$A =$	1	-1	0	0	0	$C[0]=Z[0]-Z[1];$
	1	0	-1	0	0	$C[1]=Z[0]-Z[2];$
	1	0	0	-1	0	$C[2]=Z[0]-Z[3];$
	1	0	0	0	-1	$C[3]=Z[0]-Z[4];$
	0	1	-1	0	0	$C[4]=Z[1]-Z[2];$
	0	1	0	-1	0	$C[5]=Z[1]-Z[3];$
	0	1	0	0	-1	$C[6]=Z[1]-Z[4];$
	0	0	1	-1	0	$C[7]=Z[2]-Z[3];$
	0	0	1	0	-1	$C[8]=Z[2]-Z[4];$
	0	0	0	1	-1	$C[9]=Z[3]-Z[4];$

На рис. 1 для иллюстрации показан результат фильтрации синхронного 6-мерного векторного процесса со стационарными приращениями второго порядка – синхронное движение трех точек по окружности - желтая кривая. Здесь каждый случайный процесс – это измеренные координаты точки, на которые наложены помехи - синяя кривая. Отфильтрованный процесс – красная кривая, приближающаяся к идеальной окружности.



4.6. Первая статическая модель при нестрогих ограничениях

Для первой статической модели показатель качества может быть дополнен и представлен в виде

$$T = R + \bar{M} \sum_j [[A \cdot L(j) - C(j)]^T D \cdot [A \cdot L(j) - C(j)]], \quad (12)$$

где D - диагональная матрица размерностью $U * U$ известных весовых коэффициентов d_k . При $d_k \gg 1$ уравнения модели соблюдаются строго. При $d_k \approx 1$ уравнения модели могут нарушаться в той же степени, что и ошибки фильтрации, т.е. условия (2) и (3). Наконец, при $d_k \approx 1$ и различных для различных k уравнения модели могут соблюдаться с различной степенью точности.

4.7. Векторный процесс со статической моделью второго типа

Вторая статическая модель имеет вид

$$Z''(j) = A \cdot Z'(j), \quad (13)$$

где

$Z''(j)$, $Z'(j)$ - два различных вектора (здесь штрихи идентифицируют два различных СПСП- p и все связанные с ними величины),

U - количество уравнений модели и размерность вектора измерений $Z''(j)$,

I - размерность вектора измерений $Z'(j)$,

A - известная модельная матрица размерностью $U * I$.

Фильтр, оптимальный в смысле показателя качества (4), имеет вид:

$$\begin{aligned} L'(j) &= B \cdot W, \\ L''(j) &= A \cdot L'(j), \end{aligned} \quad (14)$$

где

B - матрица размерностью $[I] * [G * (I + U)]$,

W - вектор размерностью $G * (I + U)$, где $G = 2p + 2$, причем

$$W(j) = \begin{vmatrix} W'(j) \\ W''(j) \end{vmatrix} \quad (15)$$

4.8. Векторный процесс с динамической моделью первого типа

Первая динамическая модель имеет вид

$$Z''(j+1) = A \cdot Z'(j), \quad (16)$$

то-есть связывает соседние по времени измерения двух различных процессов.

Здесь

$Z''(j)$, $Z'(j)$ - два различных вектора (здесь штрихи идентифицируют два различных СПСП- p и все связанные с ними величины),

U - количество уравнений модели и размерность вектора измерений $Z''(j)$,

I - размерность вектора измерений $Z'(j)$,

A - известная модельная матрица размерностью $U \cdot I$.

Фильтр, оптимальный в смысле показателя качества (4), имеет вид:

$$\begin{aligned} L'(j) &= B \cdot W, \\ L''(j+1) &= A \cdot L'(j), \end{aligned} \quad (17)$$

где

B - матрица размерностью $[I] \cdot [G \cdot (I+U) + U]$,

W - вектор размерностью $[G \cdot (I+U) + U]$, где $G=2p+2$, причем

$$W(j) = \begin{vmatrix} W'(j) \\ W''(j) \\ L''(j) \end{vmatrix} \quad (18)$$

4.9. Векторный процесс с динамической моделью второго типа

Вторая динамическая модель имеет вид

$$Z(j+1) = A \cdot Z(j), \quad (19)$$

то-есть связывает соседние по времени измерения одного и того же процесса. Это может быть объект с известной моделью движения.

Здесь A - известная квадратная матрица размерностью $I \cdot I$.

Фильтр, оптимальный в смысле показателя качества качества (4), имеет вид (5), где

B - матрица размерностью $[I] \cdot [G \cdot I + I]$,

W - вектор размерностью $[G \cdot I + I]$, где $G=2p+2$, причем

$$W(j) = \begin{vmatrix} W(j) \\ L''(j-1) \end{vmatrix} \quad (20)$$

5. Фильтрация.

После синтеза фильтра – вычисления матрицы B фильтрация измерений выполняется в режиме on-line по следующей схеме:

- ✓ прием векторов $Z(j)$, $C(j)$;
- ✓ формирование нового вектора $W(j)$ по известным векторам $W(j-1)$, $L(j-1)$, $C(j)$, $Z(j)$;
- ✓ вычисление вектора сглаженных $L(j)$ по известным векторам $W(j)$, B ;
- ✓ повторение предыдущей группы вычислений для следующего значения j и т.д.

6. Методика разработки программ

Разработка программ СПСП-фильтра при использовании предлагаемого метода состоит из следующих этапов:

- анализ данного процесса и выбор среди математических моделей фильтров той, которая является адекватной данному процессу;
- синтез фильтра для выбранной математической модели; этот этап выполняется с помощью предлагаемой программы;
- программирование фильтра, работающего в реальном масштабе времени; для этого предлагается библиотека функций.

7. Заключение

Можно указать ряд полезных для практики свойств предлагаемого метода, а именно:

- оптимальность многомерного фильтра для нестационарных случайных процессов.
- работоспособность при любом порядке стационарных приращений.
- применимость в системах реального времени.
- применимость в том случае, когда отсутствует информация о статических свойствах сигнала и помехи.
- сохранение для отфильтрованных значений известной зависимости между компонентами СПСП; эта зависимость может быть статической, т.е. независимой от времени, и

динамической, т.е. учитывать связь между значениями компонент в соседние моменты времени;

- повышение качества фильтрации за счет дополнительной информации, которую дает известная взаимосвязь между СПСП.

Предлагаемый метод может найти применение в системах реального времени для управления объектами с определенными математическими моделями, например,

- в системах диспетчерского управления энергосистемами, нефте- и газопроводами (известно, что соответствующие модели адекватно описываются системой линейных уравнений);
- при управлении технологическими процессами непрерывного производства (математическая модель этих процессов часто поддается линейризации);
- при распознавании объектов, форма которых изменяется аффинно;
- в частности, в системах радиолокационного сопровождения группы объектов (можно показать, что в них процесс описывается уравнениями, которые являются следствием ограниченного маневра объектов внутри группы; критерий оптимальности фильтра в этом случае является перефразировкой требования к минимизации ошибки фильтрации при ограниченном по физическим соображениям ускорении группы).

Литература

1. Гельфанд А.М., Хмельник С.И. Синтез фильтров для стационарных процессов со случайными приращениями, Автоматизированное проектирование математического и информационного обеспечения АСУ ТП, сб. научных трудов ЦНИИКА, М., Энергоатомиздат, 1988.
2. Гельфанд А.М., Хмельник С.И. Фильтрация взаимосвязанных случайных процессов со стационарными приращениями заданного порядка, АСУ ТП для химических производств, сб. научных трудов ЦНИИКА, М., Энергоатомиздат, 1988.
3. Гельфанд А.М., Хмельник С.И. Математическое моделирование в задачах синтеза алгоритмов оценивания и фильтрации,

- Математическое моделирование объектов управления, сб. научных трудов ЦНИИКА, М., НПО «ЦНИИКА, 1991.
4. Гельфанд А.М., Хмельник С.И. Проектирование цифровых фильтров для одного класса нестационарных временных рядов, ж. Автоматизированные системы управления, изд. Машиностроение, Москва, 1994, № 2.
 5. Ту Ю. Современная теория управления. М.:Машиностроение, 1971, 472 с.

Зайцев И.Б.

Методика «наивного» Байесовского классификатора для задачи совместной фильтрации в системах рекомендации

Оглавление

1. Введение
 2. Постановка задачи совместной фильтрации
 3. Модифицированный алгоритм «наивного» Байесовского классификатора
- Литература

Аннотация

Наряду с традиционными гипермедиа изданиями, интегрированными в Интернет, появляется новый класс адаптивных систем рекомендаций, которые используют информационное наполнение гипертекстовых документов и модель пользователя с целью персонализации содержимого и оптимизации навигационной структуры исходной гипермедиа системы (ГС). Наиболее значимой навигационной проблемой, возникающей в процессе использования ГС конечным пользователем, является выбор релевантных документов из всего множества доступных гипермедиа страниц. Группировка коррелированной информации на основе данных о прошлых взаимодействиях пользователей с ГС может быть успешно осуществлена с помощью методов совместной фильтрации. В данной статье мы описываем методику «наивного» Байесовского классификатора применительно к адаптивным гипермедиа системам, обеспечивающую эффективные рекомендации и учитывающую особенности предметной области.

1. Введение

В настоящее время электронные издания, интегрированные в Интернет, включают огромные архивы гипермедиа документов, содержащих новости, статьи и другого рода информацию. Современные гипертекстовые системы обновляются практически ежедневно, размещаются новые информационные ресурсы. Это

неизбежно приводит к проблеме переполнения информации, которая делает затруднительным или невозможным для конечного пользователя выделить из всего множества релевантные гипермедиа страницы. Под релевантными страницами мы понимаем такие страницы, которые могут представлять для пользователя особый интерес и соответствуют его информационным потребностям. Данная проблема ставит перед разработчиками ряд актуальных задач, касающихся оптимизации навигационной структуры гипермедиа издания, группировки совместной и контекстной информации.

Информационная фильтрация – одна из областей научных знаний, занимающаяся разработкой интеллектуальных методов адаптивного представления информации, которые являются инструментом для решения указанных задач. Существует два основных подхода к адаптации в гипермедиа системах: контентный и совместный [1, 2]. Контентная фильтрация игнорирует сведения о конечном пользователе, принимая во внимание только гипертекстовое содержимое, в то время как совместная фильтрация учитывает некоторые характеристики текущего пользователя (предпочтения, интересы, релевантность и др.) и сопоставляет их с обучающей выборкой характеристик предыдущих пользователей. Данная статья адресована решению вопросов группировки совместной информации, поэтому мы предлагаем методику в рамках совместной фильтрации с учетом модели пользователя. Результат совместной фильтрации представляется в форме рекомендации, которой соответствуют следующие основные виды адаптации на навигационном уровне: добавление дополнительных гиперссылок (скрытие гиперссылок), форматирование гиперссылок, создание расширенных гиперссылок и др. Наиболее распространенным видом адаптации, однако, является генерация дополнительного блока гиперссылок, связывающих текущую страницу с другими релевантными гипермедиа документами. Адаптивные гипермедиа системы, в которых тем или иным образом реализуются методы информационной фильтрации, в частности, совместной фильтрации, называются системами рекомендаций [2].

В современных адаптивных гипермедиа системах методика «наивного» Байесовского классификатора может особенно успешно применяться для рекомендации гиперссылок конечному пользователю, поскольку отсутствующие индексы предпочтений не являются в данном случае ограничением [5]. В данной статье мы

предлагаем методику «наивного» Байесовского классификатора, которая обеспечивает высокую точность рекомендации, обеспечивая компромисс в вычислительной сложности.

2. Постановка задачи совместной фильтрации

Введем следующие обозначения:

$W = (P, L, M)$ – исходная гипермедиа система на конечном вертикальном уровне описания;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_M\}$ – множество конечных гипермедиа страниц;

$L = \{l_1, l_2, \dots\}$ – множество гиперссылок, связывающие данные страницы;

$l = (p_s, p_d, a)$ – отдельная гиперссылка представляет собой совокупность исходящей страницы, входящей страницы и якоря, содержащего текстовое описание ссылки;

$MW = (B, T)$ – макет гипермедиа системы, определяющий визуальную структуру концептуальных блоков;

$B = \{b_1, b_2, \dots\}$ – тип концептуальных блоков: «шапка» страницы, навигационный блок, информационный блок, колонтитул страницы, дополнительный навигационный блок; T – матрица, определяющая взаимное расположение блоков;

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$ – множество прошлых N пользовательских сеансов взаимодействия с гипермедиа изданием;

$[r_{i,j}]$ – обучающая выборка R (матрица индексов предпочтений);

$[r_{aj}]$ – M -разрядный вектор Ra частичной сессии текущего пользователя;

$r_{i,j} \in \{1, 2, \dots, V, \perp\}$, $i=1, 2, \dots, N$, $j=1, 2, \dots, M$ – дискретная шкала оценок (индексов предпочтения);

$p_a \uparrow La \subset L$ – текущая (активная) страница, на которой сгенерировано некоторое подмножество гиперссылок;

$Pr = \{p_{r1}, p_{r2}, \dots, p_{rL}\}$ – множество рекомендуемых страниц, имеющих максимальные индексы предпочтений, которые были прогнозированы для отсутствующих значений вектора $[r_{aj}]$;

$Lr = \{l_{r1}, l_{r2}, \dots\}$, $l_r = (p_a, p_r, a)$, $Lr \subset L$ – множество рекомендуемых гиперссылок;

Адаптация заключается в изменении навигационной структуры исходной гипермедиа системы W путем объединения множеств Lr и La , то есть $Lr \cup La$, при этом блок рекомендаций генерирует множество ссылок $Lr: b_{rec} \uparrow Lr$.

Итак, исходная адаптивная гипермедиа система включает в себя M конечных гипертекстовых страниц, а также хранит данные о N прошлых сеансов. Обучающая выборка представляет собой матрицу размером $N \times M$, в которой каждый элемент r_{ij} является индексом предпочтения j -ой страницы i -ым пользователем. Под индексом предпочтения мы понимаем количественное выражение релевантности, которая в свою очередь является характеристикой пользователя и отражает степень его заинтересованности в размещенной на конкретной странице информации. Обычно, индексы предпочтений принимают дискретные значения, при этом предполагается, что с каждой страницей сопоставляется только единственное значение индекса, а невостребованные страницы (которые не были просмотрены за текущий сеанс) имеют неопределенное значение, обозначаемое символом \perp . Релевантность страницы может быть определена явно (путем прямых запросов с помощью экранных форм) или скрытым образом (временные наблюдения, наблюдения взаимодействия с интерфейсом и т.д.). Неявные методы определения индексов предпочтения, несмотря на очевидную противоречивость, являются более предпочтительными, поскольку позволяют получить данные для каждой востребованной страницы в сессии пользователя без осуществления интерактивного диалога с ним.

Цель совместной фильтрации заключается в рекомендации L гипертекстовых документов с наибольшими значениями прогнозируемых индексов предпочтений, рассчитанных на основе обучающей выборки $[r_{ij}]$ и M -разрядного вектора $[r_{aj}]$ частичной сессии текущего пользователя, для которого осуществляется рекомендация. Таким образом, цель совместной фильтрации можно переформулировать как прогнозирование индексов r'_{aj} для каждой невостребованной текущим пользователем страницы:

$$\begin{cases} r'_{aj} \in [1..V], \forall j : r_{aj} = \perp \\ r'_{aj} = \perp, \forall j : r_{aj} \neq \perp \end{cases}$$

3. Модифицированный алгоритм «наивного» Байесовского классификатора

Методику «наивного» Байесовского классификатора можно разделить на три основных этапа:

- обучение классификатора для каждой невостребованной текущим пользователем гипертекстовой страницы;
- прогнозирование индексов предпочтения для каждой невостребованной гипертекстовой страницы на основе условных и начальных вероятностей;
- выбор L гипертекстовых страниц с максимальными значениями прогнозируемых индексов предпочтения и рекомендация гиперссылок текущему пользователю.

Чтобы применить методику Байесовского классификатора для задачи совместной фильтрации, мы отдельно обучаем один классификатор для каждой гипермедиа страницы p_y , где $y \in 1, \dots, M$ (в частном случае – для каждой невостребованной текущим пользователем страницы). В классификации участвуют только те пользовательские сессии в обучающей выборке, в которых страница p_y была востребована:

$$U^{<y>} \subset U, \forall u_i^{<y>} : r_{i,y} \neq \perp, i \in [1..n_y],$$

где $n_y = |U^{<y>}|$ - число сессий в множестве $U^{<y>}$.

Входные вектора, которые используются для формирования классификатора, содержат значения индексов предпочтения для всех страниц, кроме самой страницы p_y . Страницу p_y мы называем целевой, остальные элементы входного вектора – страницами-атрибутами.

Для повышения точности классификации мы предлагаем ограничить множество $U^{<y>}$. Для этого мы оцениваем вес целевой страницы в текущей сессии, то есть агрегатную значимость данной страницы по отношению ко всем другим страницам (1):

$$S_{i,y} = \log m'_i \cdot \frac{\sum_{\{j|(r_{i,j} \neq \perp) \wedge (j \neq y)\}} MI_{j,y} \cdot K_{j,y}}{m'_i - 1}, \quad (1)$$

где

$K_{j,y} = \log(n_{xj}/n_y)$ - поправочный коэффициент;

n_{xj} - число сессий, имеющих совместные просмотры страниц j и y ;

m'_i - число востребованных страниц в пользовательской сессии;

$MI_{j,y} = H(R_j) + H(R_y) - H(R_j, R_y)$ - коэффициент взаимозависимости (2).

$$MI_{j,y} = \sum_{\omega} \sum_{\nu} P(R_j = \omega, R_y = \nu) \cdot \log \frac{P(R_j = \omega, R_y = \nu)}{P(R_j = \omega) \cdot P(R_y = \nu)} \quad (2)$$

Коэффициент взаимозависимости (взаимной информации) [4], основанный на энтропии, позволяет выявить статистическую зависимость между целевой страницей и каждой страницей-атрибутом. Поправочный коэффициент вводится в выражение с целью уменьшить влияние коэффициента взаимной информации для тех страниц, которые имеют незначительное перекрытие (количество совместных просмотров).

Таким образом, для обучения классификатора для каждой целевой страницы мы используем отдельное множество, в которое попадают только те пользовательские сессии, которые содержат сильно связанные страницы по отношению к целевой, а также имеют большее количество просмотров:

$$\forall u'_i \langle y \rangle : S_{i,y} > \nu_y$$

«Наивный» Байесовский классификатор в упрощенной форме может быть представлен как «наивная» Байесовская сеть [2, 5]. Вершины представляют собой компоненты входного вектора $R_1, \dots, R_{y-1}, R_{y+1}, \dots, R_M$, соответствующие метке класса R_y . Данная структура отражает главное допущение, принятое в классификаторе: значения входного вектора R_j независимы при заданной метке класса R_y . Именно по этой причине классификатор носит название «наивный».

Первый этап предлагаемой методики заключается в обучении классификатора, а именно в определении начальных вероятностей

$P(R_y = \nu)$ и условных вероятностей $P(R_j = \omega | R_y = \nu)$ – вероятности того, что страница-атрибут R_j принимает значение ω при заданной метке класса R_y (где $\omega, \nu \in \{1, 2, \dots, V\}$). Эти вероятности могут быть вычислены с использованием эмпирических частот, полученных из обучающей выборки (3, 4).

$$P(R_y = \nu) = \frac{1}{n_y} \cdot \sum_{i=1}^{n_y} \delta_{i,y}(\nu), \quad (3)$$

где

$$\delta_{i,y}(\nu) = \begin{cases} 1, & \text{если } r_{i,y} = \nu \\ 0, & \text{если } r_{i,y} \neq \nu \end{cases}$$

$$P(R_j = \omega | R_y = \nu) = \frac{\sum_{i=1}^{n_y} \delta_{i,j}(\omega) \cdot \delta_{i,y}(\nu)}{\sum_{\omega=1}^V \sum_{i=1}^{n_y} \delta_{i,j}(\omega) \cdot \delta_{i,y}(\nu)}, \quad (4)$$

где

$$\delta_{i,j}(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{если } r_{i,j} = \omega \\ 0, & \text{если } r_{i,j} \neq \omega \end{cases}$$

Следует отметить, что если хотя бы в одном случае частота окажется нулевой, вся агрегатная вероятность для заданной метки класса в процессе перемножения даст нулевой результат, не зависимо от того, насколько сильный вклад внесли остальные значения условных вероятностей. Поэтому мы предлагаем модифицированные выражения для расчета вероятностей, в которых к числителю добавляется единица, а к знаменателю – значение V . В результате начальные и условные вероятности принимают небольшое значение при нулевых частотах.

$$P(R_y = \nu) = \frac{1 + \sum_{i=1}^{n_y} \delta_{i,y}(\nu)}{V + n_y} \quad (5)$$

$$P(R_j = \omega | R_y = \nu) = \frac{1 + \sum_{i=1}^{n_y} \delta_{i,j}(\omega) \cdot \delta_{i,y}(\nu)}{V + \sum_{\omega=1}^V \sum_{i=1}^{n_y} \delta_{i,j}(\omega) \cdot \delta_{i,y}(\nu)} \quad (6)$$

Второй этап предполагает прогнозирование индексов предпочтения для не востребуемых текущим пользователем страниц (с учетом отсутствующих страниц-атрибутов):

$$r'_{ay} = \arg \max_v \theta_{yv} \prod_{i \neq y, \omega=1}^V \beta_{yvj\omega}^{\delta_{aj}(\omega)}, \quad (7)$$

где

$$\delta_{aj}(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{если } r_{aj} = \omega \\ 0, & \text{если } r_{aj} \neq \omega \end{cases}$$

Третий этап состоит в рекомендации L гипертекстовых страниц конечному пользователю с наибольшими весами, рассчитанными на предыдущей стадии.

Литература

1. А.В. Новичихин. К вопросу об эффективности и проблемах при построении моделей оптимизации Web-сайтов // Материалы VI Всероссийской объединенной конференции IST/IMS-2003. – Воронеж, ВГУ, 2003.
2. Breese, J., Heckerman, D., Kadie, C. Empirical Analysis of Predictive Algorithms for Collaborative Filtering // Proc. of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Madison, WI, 1998.
3. Charniak, E. Bayesian Networks without Tears // AI Magazine, Vol. 12, no. 4, 1991, pp. 50-63.
4. Guyon I., Elisseeff A. An Introduction to Variable and Feature Selection // Journal of Machine Learning Research 3, 2003.
5. Koji Miyahara and Michael J. Pazzani. Collaborative filtering with the simple Bayesian classifier // Proc. of the 6th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence PRICAI, 2000.

Недосекин Ю.А.

Иллюстрация полисистемного метода решения неоднородной системы линейных алгебраических уравнений

Аннотация

Полисистемный метод решения неоднородной системы линейных алгебраических уравнений описан в работе [1]. Для иллюстрации этого метода приведено решение двух систем из 6-ти линейных алгебраических уравнений и обращение матрицы 4-го порядка. Обозначения, использованные в этой работе, идентичны обозначениям в [1], поэтому они вводятся без пояснения. Ссылки на используемые формулы соответствуют номерам формул работы [1]. Вычисления выполнены на 8-ми разрядном микрокалькуляторе.

1. Алгоритм решения системы из 6 уравнений

Алгоритм основан на использовании формул (1.34) – (1.36) из работы [1], в которой реализация метода изложена в пункте 1.4. Для удобства восприятия описываемого ниже алгоритма приведем соответствующий фрагмент этого пункта.

“Для каждого k вычисления по этой формуле дают набор значений $\delta_{(n+1-k)j}$ ($j \neq 0$), из которых выбираем наибольшее по модулю.

Если это максимальное значение $\delta_{(n+1-k)j}$ относится к $j = s$, $s < n + 1 - k$, то прежде чем приступить к дальнейшим вычислениям необходимо поменять друг на друга значения $\delta_{(n+1-k)s} \leftrightarrow \delta_{(n+1-k)(n+1-k)}$ и предыдущие значения $v_i^{(n-(k-1))s} \leftrightarrow v_i^{(n-(k-1))(n+1-k)}$ ($k > 1$) для всех

i . Если среди $|\delta_{(n+1-k)s}| = \max$ будет несколько одинаковых, то выбираем с большим номером s для определенности. Таковую перестановку столбцов надо запомнить; обозначим ее символом $P_1(\mu_1, \nu_1)$, $\mu_1 > \nu_1$, $\mu_1 = n + 1 - k$, $\nu_1 = s$, – номера столбцов j , для которых произошла первая перестановка. В

процессе вычислений по всем k возникнет некоторое количество l таких перестановок

$$P_1(\mu_1 v_1 | \mu_2 v_2 | \dots | \mu_l v_l), \tag{1.51}$$

поэтому для каждого значения $k > 1$ перед использованием элементов a_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n$) $i = (n + 1 - k)$ -й строки надо произвести перестановки их значений последовательно по всем предыдущим перестановкам (1.51), начиная с $P_1(\mu_1 v_1)$.

Перестановками (1.51) воздействуем только на взятую из матрицы A строку, предназначенную для вычислений, в самой же матрице A элементы строк не переставляем. На последнем этапе вычислений ($k = n$) для $x_i = v_i^{00}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) надо произвести перестановку (1.51) их значений по индексу i в обратном порядке

$$x = P_1(\mu_l v_l | \mu_{l-1} v_{l-1} | \dots | \mu_2 v_2 | \mu_1 v_1) v^{00}, \tag{1.52}$$

где $v^{00} = (v_1^{00}, v_2^{00}, \dots, v_n^{00})^T$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – искомое решение, μ_u, v_u – значения $i, u = 1, 2, \dots, l$.

Обозначения: $a_{i0} = -b_i$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$;

векторы $a^i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}, a_{i5}, a_{i6}, a_{i0})$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

Если $|\delta_{(n+1-k)(n+1-k)}| = \max$, то перестановка $P_1(n + 1 - k, s_k)$ отсутствует для данного номера (k) и для следующего этапа вычислений с номером ($k + 1$) используется предыдущая перестановочная комбинация P_1 . После преобразования

$$(a^{6-k+1})' = P_1 a^{6-k+1} \text{ переобозначим}$$

$$(a^{6-k+1})' \rightarrow a^{6-k+1} \text{ для дальнейшего использования.}$$

$$\underline{k = 1.} \quad (a^6)' = a^6; \quad \delta_{6j} = a_{6j}, \quad j = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6;$$

$$|\delta_{6s_1}| = \max \Rightarrow \delta_{6s_1} = \delta^*, \quad \delta_{66} \leftrightarrow \delta_{6s_1}; \quad P_1(6, s_1)$$

$$v_1^{5j} = -\delta_{6j} / \delta^*, \quad j = 0, 1, 2, 3, 4, 5.$$

$$\underline{k = 2.}$$

$$(a^5)' = P_1(6, s_1) a^5; \quad \delta_{5j} = a_{5j} + a_{56} v_1^{5j}, \quad j = 0, 1, 2, 3, 4, 5;$$

$$|\delta_{5s_2}| = \max \Rightarrow \delta_{5s_2} = \delta^*, \quad \delta_{55} \leftrightarrow \delta_{5s_2}, \quad P_1(5, s_2), \quad v_1^{55} \leftrightarrow v_1^{5s_2};$$

$$v_1^{4j} = -\delta_{5j} / \delta^*, \quad v_i^{4j} = v_{i-1}^{55} v_1^{4j} + v_{i-1}^{5j}, \quad j = 0, 1, 2, 3, 4, \quad i = 2.$$

$k = 3.$

$$(a^4)' = P_1(6s_1 | 5s_2) a^4; \quad \delta_{4j} = a_{4j} + a_{45} v_1^{4j} + a_{46} v_2^{4j}, \quad j = 0, 1, 2, 3, 4;$$

$$|\delta_{4s_3}| = \max \Rightarrow \delta_{4s_3} = \delta^*, \quad \delta_{44} \leftrightarrow \delta_{4s_3}, \quad P_1(4, s_3), \quad v_i^{44} \leftrightarrow v_i^{4s_3}, \quad i = 1, 2;$$

$$v_1^{3j} = -\delta_{4j} / \delta^*, \quad v_i^{3j} = v_{i-1}^{44} v_1^{3j} + v_{i-1}^{4j}, \quad j = 0, 1, 2, 3, \quad i = 2, 3.$$

$k = 4.$ $(a^3)' = P_1(6s_1 | 5s_2 | 4s_3) a^3;$

$$\delta_{3j} = a_{3j} + a_{34} v_1^{3j} + a_{35} v_2^{3j} + a_{36} v_3^{3j}, \quad j = 0, 1, 2, 3;$$

$$|\delta_{3s_4}| = \max \Rightarrow \delta_{3s_4} = \delta^*, \quad \delta_{33} \leftrightarrow \delta_{3s_4}, \quad P_1(3, s_4), \quad v_i^{33} \leftrightarrow v_i^{3s_4}, \quad i = 1, 2, 3;$$

$$v_1^{2j} = -\delta_{3j} / \delta^*, \quad v_i^{2j} = v_{i-1}^{33} v_1^{2j} + v_{i-1}^{3j}, \quad j = 0, 1, 2, \quad i = 2, 3, 4.$$

$k = 5.$ $(a^2)' = P_1(6s_1 | 5s_2 | 4s_3 | 3s_4) a^2;$

$$\delta_{2j} = a_{2j} + a_{23} v_1^{2j} + a_{24} v_2^{2j} + a_{25} v_3^{2j} + a_{26} v_4^{2j}, \quad j = 0, 1, 2;$$

$$|\delta_{2s_5}| = \max \Rightarrow \delta_{2s_5} = \delta^*, \quad \delta_{22} \leftrightarrow \delta_{2s_5}, \quad P_1(2, s_5), \quad v_i^{22} \leftrightarrow v_i^{2s_5}, \quad i = 1, 2, 3, 4;$$

$$v_1^{1j} = -\delta_{2j} / \delta^*, \quad v_i^{1j} = v_{i-1}^{22} v_1^{1j} + v_{i-1}^{2j}, \quad j = 0, 1, \quad i = 2, 3, 4, 5.$$

$k = 6.$ $(a^1)' = P_1(6s_1 | 5s_2 | 4s_3 | 3s_4 | 2s_5) a^1;$

$$\delta_{1j} = a_{1j} + a_{12} v_1^{1j} + a_{13} v_2^{1j} + a_{14} v_3^{1j} + a_{15} v_4^{1j} + a_{16} v_5^{1j}, \quad j = 0, 1;$$

$$\delta_{11} = \delta^*, \quad v_1^{00} = -\delta_{10} / \delta^*, \quad v_i^{00} = v_{i-1}^{11} v_1^{00} + v_{i-1}^{10}, \quad i = 2, 3, 4, 5, 6;$$

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) =$$

$$= P_1(2s_5 | 3s_4 | 4s_3 | 5s_2 | 6s_1)(v_1^{00}, v_2^{00}, v_3^{00}, v_4^{00}, v_5^{00}, v_6^{00}).$$

Пример 1. Решить систему

столбцы	1	2	3	4	5	6	b_i	0	$\ a\ _i$	
	$47x_1 - 61x_2 + 73x_3 + 89x_4 - 41x_5 + 9x_6 =$						349	-349	320	
	$-29x_1 + 33x_2 - 41x_3 - 19x_4 + 27x_5 - 11x_6 =$						-93	93	160	
	$11x_1 + 17x_2 - 9x_3 + 21x_4 + 13x_5 - 9x_6 =$						113	-113	80	
(1)	$-7x_1 + 3x_2 + x_3 - 9x_4 - 7x_5 + 13x_6 =$						9	-9	40	
	$x_1 - 3x_2 + x_3 + 7x_4 - x_5 + 7x_6 =$						63	-63	20	
	$x_1 + 3x_2 - x_3 - x_4 + 3x_5 - x_6 =$						9	-9	10	

Нормы строк $\|a\|_{i\downarrow} = \sum_{j=1}^6 |a_{ij}|$ расположены в системе уравнений по убыванию с возрастанием номера строки.

Обмен $v_i^{(n-(k-1))s} \leftrightarrow v_i^{(n-(k-1))(n+1-k)}$ ($k > 1$), возникший на этапе k , показан на этапе $(k-1)$ для удобства. Обмениваемые значения символов v и δ подчеркнуты.

$k = 1$. $(a^6)' = a^6 = (1, 3, -1, -1, 3, -1, -9)$

$\delta_{60} = -9$ $\delta_{61} = 1$ $\delta_{62} = 3$ $\delta_{63} = -1$ $\delta_{64} = -1$ $\delta_{65} = 3$ $\delta_{66} = -1$

$|\delta_{65}| = \max \delta_{65} = \delta^* = 3 \Rightarrow \delta_{65} \leftrightarrow \delta_{66}$, $\delta_{65} = -1$ $\delta_{66} = 3$

$P_1(6, 5)$ $v_1^{50} = 3$ $v_1^{51} = -3,3333333 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{52} = -1$

$v_1^{53} = 3,3333333 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{54} = 3,3333333 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{55} = 3,3333333 \cdot 10^{-1}$

$k = 2$. $(a^5)' = P_1(6, 5)a^5 = P_1(6, 5)(1, -3, 1, 7, -1, 7, -63) =$
 $= (1, -3, 1, 7, 7, -1, -63)$

$\delta_{50} = -66$ $\delta_{51} = 1,3333333$ $\delta_{52} = -2$

$\delta_{53} = 6,6666667 \cdot 10^{-1}$ $\delta_{54} = 6,6666667$ $\delta_{55} = 6,6666667$

$|\delta_{55}| = \max \delta_{55} = \delta^* = 6,6666667 \Rightarrow$ перестановки $P_1(5s_2)$ нет.

$v_1^{40} = 9,8999999$ $v_2^{40} = 6,2999999$

$v_1^{41} = -1,9999999 \cdot 10^{-1}$ $v_2^{41} = -3,9999999 \cdot 10^{-1}$

$v_1^{42} = 2,9999999 \cdot 10^{-1}$ $v_2^{42} = -0,9$

$v_1^{43} = -0,1$ $v_2^{43} = 0,3$

$v_1^{44} = -1$ $v_2^{44} = 0$

$k = 3$. $(a^4)' = P_1(6, 5)a^4 = P_1(6, 5)(-7, 3, 1, -9, -7, 13, -9) =$
 $= (-7, 3, 1, -9, 13, -7, -9)$

$\delta_{40} = 75,6$ $\delta_{41} = -6,7999999$ $\delta_{42} = 13,2$ $\delta_{43} = -2,4$ $\delta_{44} = -22$

$|\delta_{44}| = \max \delta_{44} = \delta^* = -22 \Rightarrow$ перестановки $P_1(4s_3)$ нет.

$$\begin{array}{lll}
 v_1^{30} = 3,4363636 & v_2^{30} = 6,4636363 & v_3^{30} = 6,2999999 \\
 v_1^{31} = -3,090909 \cdot 10^{-1} & v_2^{31} = 1,0909091 \cdot 10^{-1} & v_3^{31} = -3,9999999 \cdot 10^{-1} \\
 v_1^{32} = 0,6 & v_2^{32} = -3,0000001 \cdot 10^{-1} & v_3^{32} = -0,9 \\
 v_1^{33} = -1,090909 \cdot 10^{-1} & v_2^{33} = 9,0909 \cdot 10^{-3} & v_3^{33} = 0,3 \\
 v_1^{32} \leftrightarrow v_1^{33} \Rightarrow v_1^{32} = -1,090909 \cdot 10^{-1} & v_1^{33} = 0,6 & \\
 v_2^{32} \leftrightarrow v_2^{33} \Rightarrow v_2^{32} = 9,0909 \cdot 10^{-3} & v_2^{33} = -3,0000001 \cdot 10^{-1} & \\
 v_3^{32} \leftrightarrow v_3^{33} \Rightarrow v_3^{32} = 0,3 & v_3^{33} = -0,9 &
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k=4.} \quad (a^3)' &= P_1(6, 5)a^3 = P_1(6, 5)(11, 17, -9, 21, 13, -9, -113) = \\
 &= (11, 17, -9, 21, -9, 13, -113)
 \end{aligned}$$

$$\delta_{30} = -17,109089 \quad \delta_{31} = -1,672727 \quad \underline{\delta_{32} = 20,6} \quad \underline{\delta_{33} = -7,472727}$$

$$|\delta_{32}| = \max \quad \delta_{32} = \delta^* = 20,6 \Rightarrow \delta_{32} \leftrightarrow \delta_{33}, \quad \delta_{32} = -7,472727 \quad \delta_{33} = 20,6$$

$$P_1(3, 2)$$

$$\begin{array}{lll}
 v_1^{20} = 8,9053830 \cdot 10^{-1} & v_1^{21} = 8,1200339 \cdot 10^{-2} & v_1^{22} = 3,6275373 \cdot 10^{-1} \\
 v_2^{20} = 3,9346866 & v_2^{21} = -2,603707 \cdot 10^{-1} & v_2^{22} = 1,0856134 \cdot 10^{-1} \\
 v_3^{20} = 6,2144748 & v_3^{21} = 8,4730810 \cdot 10^{-2} & v_3^{22} = -9,973522 \cdot 10^{-2} \\
 v_4^{20} = 5,5525154 & v_4^{21} = -4,7308029 \cdot 10^{-1} & v_4^{22} = -2,647836 \cdot 10^{-2}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 v_1^{21} \leftrightarrow v_1^{22} \Rightarrow v_1^{21} = 3,6275373 \cdot 10^{-1} & v_1^{22} = 8,1200339 \cdot 10^{-2} \\
 v_2^{21} \leftrightarrow v_2^{22} \Rightarrow v_2^{21} = 1,0856134 \cdot 10^{-1} & v_2^{22} = -2,6037070 \cdot 10^{-1} \\
 v_3^{21} \leftrightarrow v_3^{22} \Rightarrow v_3^{21} = -9,973522 \cdot 10^{-2} & v_3^{22} = 8,4730810 \cdot 10^{-2} \\
 v_4^{21} \leftrightarrow v_4^{22} \Rightarrow v_4^{21} = -2,647836 \cdot 10^{-2} & v_4^{22} = -4,7308029 \cdot 10^{-1}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \underline{k} = 5. \quad (a^2)' &= P_1(6, 5 | 3, 2)a^2 = \\ &= P_1(6, 5 | 3, 2)(-29, 33, -41, -19, 27, -11, 93) = \\ &= P_1(3, 2)(-29, 33, -41, -19, -11, 27, 93) = \\ &= (-29, -41, 33, -19, -11, 27, 93) \end{aligned}$$

$$\delta_{20} = 127,20742 \quad \underline{\delta_{21} = -35,078553} \quad \underline{\delta_{22} = -30,709621}$$

$$|\delta_{21}| = \max \delta_{21} = \delta^* = -35,078553 \Rightarrow \delta_{21} \leftrightarrow \delta_{22}, \quad \delta_{21} = -30,709621$$

$$\delta_{22} = -35,078553 \quad P_1(2, 1)$$

$$\begin{aligned} v_1^{10} &= 3,6263588 & v_2^{10} &= 1,1249999 & v_3^{10} &= 2,990489 \\ v_1^{11} &= -8,754529 \cdot 10^{-1} & v_2^{11} &= 2,9166666 \cdot 10^{-1} & v_3^{11} &= 3,3650362 \cdot 10^{-1} \\ v_4^{10} &= 6,5217391 & v_5^{10} &= 3,8369565 \\ v_4^{11} &= -1,7391305 \cdot 10^{-1} & v_5^{11} &= 3,8768115 \cdot 10^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{k} = 6. \quad (a^1)' &= P_1(6, 5 | 3, 2 | 2, 1)a^1 = \\ &= P_1(6, 5 | 3, 2 | 2, 1)(47, -61, 73, 89, -41, 9, -349) = \\ &= P_1(3, 2 | 2, 1)(47, -61, 73, 89, 9, -41, -349) = \\ &= P_1(2, 1)(47, 73, -61, 89, 9, -41, -349) = \\ &= (73, 47, -61, 89, 9, -41, -349) \end{aligned}$$

$$\delta_{10} = -79,65218 \quad \delta_{11} = 26,550726 \quad \delta_{11} = \delta^* = 26,550726$$

$$v_1^{00} = 3 \quad v_2^{00} = 1,0000001 \quad v_3^{00} = 1,9999999 \quad v_4^{00} = 3,9999999 \quad v_5^{00} = 6$$

$$\begin{aligned} v_6^{00} &= 5 \quad (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = \\ &= P_1(2, 1 | 3, 2 | 6, 5)(3; 1,0000001; 1,9999999; 3,9999999; 6; 5) = \\ &= P_1(3, 2 | 6, 5)(1,0000001; 3; 1,9999999; 3,9999999; 6; 5) = \\ &= P_1(6, 5)(1,0000001; 1,9999999; 3; 3,9999999; 6; 5) = \\ &= (1,0000001; 1,9999999; 3; 3,9999999; 5; 6) \end{aligned}$$

Пусть x – точное решение системы уравнений; \bar{x} – машинное решение; $\varepsilon = |x - \bar{x}|$ – абсолютная погрешность вычисления.

Результаты решения запишем в таблицу.

↓	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x	1	2	3	4	5	6

\bar{x}	1,0000001	1,9999999	3	3,9999999	5	6
ε_{\downarrow}	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0	$1 \cdot 10^{-7}$	0	0

Знак \downarrow в левой верхней ячейки таблицы означает, что нормы строк $\|a\|_{i\downarrow}$ убывают с возрастанием номера строки матрицы A системы

уравнений. Определитель $\det A = (-1)^3 \prod_{i=1}^6 \delta_{ii}^* = -8441856,4$.

Решим систему (1) с нормами строк $\|a\|_{i\uparrow}$, возрастающими с увеличением номера i строки. Для этого в (1) сделаем перестановки уравнений: $1 \leftrightarrow 6, 2 \leftrightarrow 5, 3 \leftrightarrow 4$. Эту перестановочную комбинацию запоминать не нужно, так как нет смешивания x_j ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$). В результате получим систему уравнений:

столбцы	1	2	3	4	5	6	b_i	0	$\ a\ _i$
	$x_1 +$	$3x_2 -$	$x_3 -$	$x_4 +$	$3x_5 -$	$x_6 =$	9	-9	10
	$x_1 -$	$3x_2 +$	$x_3 +$	$7x_4 -$	$x_5 +$	$7x_6 =$	63	-63	20
	$-7x_1 +$	$3x_2 +$	$x_3 -$	$9x_4 -$	$7x_5 +$	$13x_6 =$	9	-9	40
(2)	$11x_1 +$	$17x_2 -$	$9x_3 +$	$21x_4 +$	$13x_5 -$	$9x_6 =$	113	-113	80
	$-29x_1 +$	$33x_2 -$	$41x_3 -$	$19x_4 +$	$27x_5 -$	$11x_6 =$	-93	93	160
	$47x_1 -$	$61x_2 +$	$73x_3 +$	$89x_4 -$	$41x_5 +$	$9x_6 =$	349	-349	320

$k = 1$. $(a^6)' = a^6 = (47, -61, 73, 89, -41, 9, -349)$

$\delta_{60} = -349$ $\delta_{61} = 47$ $\delta_{62} = -61$ $\delta_{63} = 73$ $\delta_{64} = 89$ $\delta_{65} = -41$ $\delta_{66} = 9$

$|\delta_{64}| = \max \delta_{64} = \delta^* = 89 \Rightarrow \delta_{64} \leftrightarrow \delta_{66}, \delta_{64} = 9 \delta_{66} = 89 P_1(6, 4)$

$v_1^{50} = 3,9213483$ $v_1^{51} = -5,2808988 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{52} = 6,8539325 \cdot 10^{-1}$

$v_1^{53} = -8,2022471 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{54} = -1,0112359 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{55} = 4,6067415 \cdot 10^{-1}$

$v_1^{53} \leftrightarrow v_1^{55} \Rightarrow v_1^{53} = 4,6067415 \cdot 10^{-1}$ $v_1^{55} = -8,2022471 \cdot 10^{-1}$

$k = 2$. $(a^5)' = P_1(6, 4)a^5 = P_1(6, 4)(-29, 33, -41, -19, 27, -11, 93) =$

$= (-29, 33, -41, -11, 27, -19, 93)$

$\delta_{50} = 18,494383$ $\delta_{51} = -18,966292$ $\delta_{52} = 19,977528$

$\delta_{53} = -25,415731$ $\delta_{54} = -9,078652$ $\delta_{55} = 18,247191$

$$|\delta_{53}| = \max \delta_{53} = \delta^* = -25,415731 \Rightarrow \delta_{53} \leftrightarrow \delta_{55} ,$$

$$\delta_{53} = 18,247191 \quad \delta_{55} = -25,415731 \quad P_1(5, 3)$$

$$v_1^{40} = 7,2767464 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{40} = 3,3244916$$

$$v_1^{41} = -7,4624223 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{41} = 8,3996440 \cdot 10^{-2}$$

$$v_1^{42} = 7,8603003 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{42} = 4,0672000 \cdot 10^{-2}$$

$$v_1^{43} = 7,1794869 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{43} = -1,2820511 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{44} = -3,5720601 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{44} = 1,9186561 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{41} \leftrightarrow v_1^{44} \Rightarrow v_1^{41} = -3,5720601 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{44} = -7,4624223 \cdot 10^{-1}$$

$$v_2^{41} \leftrightarrow v_2^{44} \Rightarrow v_2^{41} = 1,9186561 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{44} = 8,3996440 \cdot 10^{-2}$$

$k = 3.$

$$(a^4)' = P_1(6, 4 | 5, 3)a^4 = P_1(6, 4 | 5, 3)(11, 17, -9, 21, 13, -9, -113) =$$

$$= P_1(5, 3)(11, 17, -9, -9, 13, 21, -113) = (11, 17, 13, -9, -9, 21, -113)$$

$$\delta_{40} = -49,73475 \quad \delta_{41} = 19,480105 \quad \delta_{42} = 10,779842 \quad \delta_{43} = 3,8461547$$

$$\delta_{44} = -1,7559681 \quad |\delta_{41}| = \max \delta_{41} = \delta^* = 19,480105 \Rightarrow \delta_{41} \leftrightarrow \delta_{44}$$

$$\delta_{41} = -1,7559681 \quad \delta_{44} = 19,480105 \quad P_1(4, 1)$$

$$v_1^{30} = 2,5531048 \quad v_2^{30} = -1,17756 \quad v_3^{30} = 3,5389433$$

$$v_1^{31} = 9,0141613 \cdot 10^{-2} \quad v_2^{31} = -4,2447349 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{31} = 1,9943719 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{32} = -5,5337699 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{32} = 1,1989833 \quad v_3^{32} = -5,809697 \cdot 10^{-3}$$

$$v_1^{33} = -1,9744014 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{33} = 8,6528686 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{33} = -1,4478938 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{31} \leftrightarrow v_1^{33} \Rightarrow v_1^{31} = -1,9744014 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{33} = 9,0141613 \cdot 10^{-2}$$

$$v_2^{31} \leftrightarrow v_2^{33} \Rightarrow v_2^{31} = 8,6528686 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{33} = -4,2447349 \cdot 10^{-1}$$

$$v_3^{31} \leftrightarrow v_3^{33} \Rightarrow v_3^{31} = -1,4478938 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{33} = 1,9943719 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k=4.} \quad (a^3)' &= P_1(6, 4 | 5, 3 | 4, 1)a^3 = \\
 &= P_1(6, 4 | 5, 3 | 4, 1)(-7, 3, 1, -9, -7, 13, -9) = \\
 &= P_1(5, 3 | 4, 1)(-7, 3, 1, 13, -7, -9, -9) = \\
 &= P_1(4, 1)(-7, 3, -7, 13, 1, -9, -9) = (13, 3, -7, -7, 1, -9, -9)
 \end{aligned}$$

$$\delta_{30} = -59,899784 \quad \underline{\delta_{31} = 10,149601} \quad \delta_{32} = 8,1249095 \quad \underline{\delta_{33} = -3,4495277}$$

$$|\delta_{31}| = \max \quad \delta_{31} = \delta^* = 10,149601 \Rightarrow \delta_{31} \leftrightarrow \delta_{33}, \quad \delta_{31} = -3,4495277$$

$$\delta_{33} = 10,149601 \quad P_1(3, 1)$$

$$v_1^{20} = 5,9016885 \quad v_1^{21} = 3,3986830 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{22} = -8,0051516 \cdot 10^{-1}$$

$$v_2^{20} = 3,0850925 \quad v_2^{21} = -1,6680386 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{22} = -6,2553672 \cdot 10^{-1}$$

$$v_3^{20} = -3,6826703 \quad v_3^{21} = 7,2102178 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{22} = 1,5387808$$

$$v_4^{20} = 4,7159595 \quad v_4^{21} = -7,7007000 \cdot 10^{-2} \quad v_4^{22} = -1,6546219 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k=5.} \quad (a^2)' &= P_1(6, 4 | 5, 3 | 4, 1 | 3, 1)a^2 = \\
 &= P_1(6, 4 | 5, 3 | 4, 1 | 3, 1)(1, -3, 1, 7, -1, 7, -63) = \\
 &= P_1(5, 3 | 4, 1 | 3, 1)(1, -3, 1, 7, -1, 7, -63) = \\
 &= P_1(4, 1 | 3, 1)(1, -3, -1, 7, 1, 7, -63) = \\
 &= P_1(3, 1)(7, -3, -1, 1, 1, 7, -63) = (-1, -3, 7, 1, 1, 7, -63)
 \end{aligned}$$

$$\delta_{20} = 10,72596 \quad \delta_{21} = 1,394247 \quad \delta_{22} = -8,8485973$$

$$|\delta_{22}| = \max \quad \delta_{22} = \delta^* = -8,8485973 \Rightarrow \text{перестановки } P_1(2, s_5) \text{ нет.}$$

$$v_1^{10} = 1,212165 \quad v_2^{10} = 4,9313321 \quad v_3^{10} = 2,3268388$$

$$v_1^{11} = 1,57567 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{11} = 2,1373353 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{11} = -2,653678 \cdot 10^{-1}$$

$$v_4^{10} = -1,8174141 \quad v_5^{10} = 4,515392$$

$$v_4^{11} = 9,6348285 \cdot 10^{-1} \quad v_5^{11} = -1,0307838 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k} = 6. \quad (a^1)' &= P_1(6, 4 | 5, 3 | 4, 1 | 3, 1)a^1 = \\
 &= P_1(6, 4 | 5, 3 | 4, 1 | 3, 1)(1, 3, -1, -1, 3, -1, -9) = \\
 &= P_1(5, 3 | 4, 1 | 3, 1)(1, 3, -1, -1, 3, -1, -9) = \\
 &= P_1(4, 1 | 3, 1)(1, 3, 3, -1, -1, -1, -9) = \\
 &= P_1(3, 1)(-1, 3, 3, 1, -1, -1, -9) = (3, 3, -1, 1, -1, -1, -9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{10} &= -10,665976 \quad \delta_{11} = 2,1331953 \quad \delta_{11} = \delta^* = 2,1331953 \\
 v_1^{00} &= 4,9999997 \quad v_2^{00} = 2 \quad v_3^{00} = 5,9999997 \quad v_4^{00} = 0,9999999 \\
 v_5^{00} &= 2,9999999 \quad v_6^{00} = 4,0000001 \quad (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = \\
 &= P_1(3, 1 | 4, 1 | 5, 3 | 6, 4)(4,9999997; 2; 5,9999997; 0,9999999; \\
 &2,9999999; 4,0000001) = P_1(4, 1 | 5, 3 | 6, 4)(5,9999997; 2; 4,9999997; \\
 &0,9999999; 2,9999999; 4,0000001) = P_1(5, 3 | 6, 4)(0,9999999; 2; \\
 &4,9999997; 5,9999997; 2,9999999; 4,0000001) = P_1(6, 4)(0,9999999; \\
 &2; 2,9999999; 5,9999997; 4,9999997; 4,0000001) = (0,9999999; 2; \\
 &2,9999999; 4,0000001; 4,9999997; 5,9999997)
 \end{aligned}$$

↑	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x	1	2	3	4	5	6
\bar{x}	0,9999999	2	2,9999999	4,0000001	4,9999997	5,9999997
ε_{\uparrow}	$1 \cdot 10^{-7}$	0	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$

Решим систему (1) методом Гаусса с выбором главного элемента по столбцу. Для 1-го столбца главным элементом является $a_{11} = 47$, остальные подчеркнуты.

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	b_i
1	-1,2978723 -4,638296 <u>31,276595</u> -6,0851061 -1,7021277 4,2978723	1,5531914 4,04255 -26,085105 11,87234 -5,531914(1) -2,5531914	1,893617 35,914893 1,70213(1) 4,255319 5,106383 -2,893617	-8,7234042(1) 1,702128 22,595745 -13,106383 -1,276596(1) 3,8723404	1,9148936(1) -5,446809 -11,106383 14,340426 6,8085106 -1,1914894	7,4255319 122,34043 31,31915 60,978723 55,574468 1,5744681
	1	-8,3401358(1) 1,741481(1) <u>6,797279</u> -1,972789 1,0312925	5,4421844(3) 35,940136 4,2884353 5,1156463 -2,9170068	7,22449(1) 5,0530603 -8,710204 1,1020409 7,673469(1)	-3,5510204(1) -7,0938774 12,179592 6,2040816 3,346938(1)	1,0013606 126,98504 67,072108 57,278912 -2,7292518
		1	6,309047(1) <u>35,830265</u>	-1,2814251 5,276218	1,7918334 -7,4059218	9,8674937 125,26664

			6,3602882 -3,5676541	-1,4259404 2,0888709	9,7389908 -1,5132105	76,745395 -12,905524
			1	1,472559(1) -2,3625304 <u>2,614229</u>	-2,0669458(1) 11,053628 -2,2506253	3,4961125 54,509112 -4,32604(1)
				1	-8,609136(1) 9,019693	-1,6548052(1) 54,118159
1	2	3	4	5	6	x
0,9999991	1,9999996	3,0000007	4,0000003	5,0000012	6,0000001	\bar{x}
9(7)	4(7)	7(7)	3(7)	12(7)	1(7)	ε_T

Выражение $a(n)$ в этой таблице означает $a \cdot 10^{-n}$.

Составим сравнительную таблицу для погрешностей.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
ε_{\downarrow}	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0	$1 \cdot 10^{-7}$	0	0
ε_{\uparrow}	$1 \cdot 10^{-7}$	0	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$
ε_T	$9 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$12 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
$\varepsilon_T / \varepsilon_{\downarrow}$	9	4	14	3	24	2

При вычислении отношения $\varepsilon_T / \varepsilon_{\downarrow}$ для значений $\varepsilon_{\downarrow} = 0$ взято $\varepsilon_{\downarrow} = 5 \cdot 10^{-8}$, так как использовался 8-ми разрядный микрокалькулятор.

Пример 2. Решим систему, нормы строк в которой одинаковы.

1	2	3	4	5	6	b_i	0	$\ a\ _i$
<hr/>								
$0,13x_1 - 0,07x_2 + 0,11x_3 + 0,09x_4 - 0,03x_5 + 0,07x_6 = 0,95 \mid -0,95 \mid 0,5 \mid$								
$-0,11x_1 + 0,09x_2 - 0,17x_3 - 0,03x_4 + 0,07x_5 - 0,03x_6 = -0,39 \mid 0,39 \mid 0,5 \mid$								
$0,07x_1 - 0,03x_2 + 0,11x_3 + 0,09x_4 - 0,13x_5 + 0,07x_6 = 0,47 \mid -0,47 \mid 0,5 \mid$								
$-0,03x_1 + 0,07x_2 + 0,13x_3 - 0,01x_4 + 0,17x_5 - 0,09x_6 = 0,77 \mid -0,77 \mid 0,5 \mid$								
$0,09x_1 - 0,03x_2 - 0,07x_3 + 0,11x_4 - 0,09x_5 + 0,11x_6 = 0,47 \mid -0,47 \mid 0,5 \mid$								
$0,17x_1 + 0,13x_2 + 0,03x_3 - 0,07x_4 + 0,09x_5 - 0,01x_6 = 0,63 \mid -0,63 \mid 0,5 \mid$								

$k = 1. (a^6)' = a^6 = (0,17; 0,13; 0,03; -0,07; 0,09; -0,01; -0,63)$

$\delta_{60} = -0,63 \quad \underline{\delta_{61} = 0,17} \quad \delta_{62} = 0,13 \quad \delta_{63} = 0,03 \quad \delta_{64} = -0,07$

$\delta_{65} = 0,09 \quad \underline{\delta_{66} = -0,01} \quad |\delta_{61}| = \max \quad \delta_{61} = \delta^* = 0,17 \Rightarrow \delta_{61} \leftrightarrow \delta_{66}$

$\delta_{61} = -0,01 \quad \delta_{66} = 0,17 \quad P_1(6, 1)$

$\nu_1^{50} = 3,7058823 \quad \nu_1^{51} = 5,8823529 \cdot 10^{-2} \quad \nu_1^{52} = -7,6470588 \cdot 10^{-1}$

$$v_1^{53} = -1,7647058 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{54} = 4,1176470 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{55} = -5,2941176 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{54} \leftrightarrow v_1^{55} \Rightarrow v_1^{54} = -5,2941176 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{55} = 4,1176470 \cdot 10^{-1}$$

$$\underline{k = 2.} \quad (a^5)' = P_1(6, 1)a^5 =$$

$$= P_1(6, 1)(0,09; -0,03; -0,07; 0,11; -0,09; 0,11; -0,47) =$$

$$= (0,11; -0,03; -0,07; 0,11; -0,09; 0,09; -0,47)$$

$$\delta_{50} = -1,3647059 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{51} = 1,1529412 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{52} = -9,8823529 \cdot 10^{-2}$$

$$\delta_{53} = -8,5882352 \cdot 10^{-2} \quad \delta_{54} = 1,4705882 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{55} = -1,3764706 \cdot 10^{-1}$$

$$|\delta_{54}| = \max \delta_{54} = \delta^* = 1,4705882 \cdot 10^{-1} \Rightarrow \delta_{54} \leftrightarrow \delta_{55}$$

$$\delta_{54} = -1,3764706 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{55} = 1,4705882 \cdot 10^{-1} \quad P_1(5, 4)$$

$$v_1^{40} = 9,2800003 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{40} = 4,0880000$$

$$v_1^{41} = -7,8400003 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{41} = -2,6400001 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{42} = 6,7200001 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{42} = -4,8800000 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{43} = 5,8400000 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{43} = 6,4000000 \cdot 10^{-2}$$

$$v_1^{44} = 9,3600003 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{44} = -1,4399999 \cdot 10^{-1}$$

$$\underline{k = 3.} \quad (a^4)' = P_1(6, 1 | 5, 4)a^4 =$$

$$= P_1(6, 1 | 5, 4)(-0,03; 0,07; 0,13; -0,01; 0,17; -0,09; -0,77) =$$

$$= P_1(5, 4)(-0,09; 0,07; 0,13; -0,01; 0,17; -0,03; -0,77) =$$

$$= (-0,09; 0,07; 0,13; 0,17; -0,01; -0,03; -0,77)$$

$$\delta_{40} = -9,0192000 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{41} = -7,4240000 \cdot 10^{-2} \quad \delta_{42} = 7,7920000 \cdot 10^{-2}$$

$$\delta_{43} = 1,2224000 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{44} = 1,6496000 \cdot 10^{-1}$$

$$|\delta_{44}| = \max \delta_{44} = \delta^* = 1,6496000 \cdot 10^{-1} \quad P_1(4s_3) \text{ нет.}$$

$$v_1^{30} = 5,4675072 \quad v_2^{30} = 6,0455869 \quad v_3^{30} = 3,3006790$$

$$v_1^{31} = 4,5004849 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{31} = -3,6275463 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{31} = -3,2880699 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{32} = -4,7235693 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{32} = 2,2987391 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{32} = -4,1998061 \cdot 10^{-1}$$

$$v_1^{33} = -7,4102812 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{33} = -1,0960234 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{33} = 1,7070804 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k} = 4. \quad (a^3)' &= P_1(6, 1 | 5, 4)a^3 = \\
 &= P_1(6, 1 | 5, 4)(0,07; -0,03; 0,11; 0,09; -0,13; 0,07; -0,47) = \\
 &= P_1(5, 4)(0,07; -0,03; 0,11; 0,09; -0,13; 0,07; -0,47) = \\
 &= (0,07; -0,03; 0,11; -0,13; 0,09; 0,07; -0,47)
 \end{aligned}$$

$$\delta_{30} = -4,0562557 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{31} = -4,4170709 \cdot 10^{-2} \quad \delta_{32} = 2,2696409 \cdot 10^{-2}$$

$$\delta_{33} = 2,0841901 \cdot 10^{-1} \quad |\delta_{33}| = \max \delta_{33} = \delta^* = 2,0841901 \cdot 10^{-1} \quad P_1(3s_4) \text{ нет.}$$

$$v_1^{20} = 1,9462023 \quad v_1^{21} = 2,1193224 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{22} = -1,0889797 \cdot 10^{-1}$$

$$v_2^{20} = 4,0253166 \quad v_2^{21} = 2,9300074 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{22} = -3,9166047 \cdot 10^{-1}$$

$$v_3^{20} = 5,8322786 \quad v_3^{21} = -3,8598290 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{22} = 2,4180938 \cdot 10^{-1}$$

$$v_4^{20} = 3,6329114 \quad v_4^{21} = -2,9262845 \cdot 10^{-1} \quad v_4^{22} = -4,3857037 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k} = 5. \quad (a^2)' &= P_1(6, 1 | 5, 4)a^2 = \\
 &= P_1(6, 1 | 5, 4)(-0,11; 0,09; -0,17; -0,03; 0,07; -0,03; 0,39) = \\
 &= P_1(5, 4)(-0,03; 0,09; -0,17; -0,03; 0,07; -0,11; 0,39) = \\
 &= (-0,03; 0,09; -0,17; 0,07; -0,03; -0,11; 0,39)
 \end{aligned}$$

$$\delta_{20} = -2,3367084 \cdot 10^{-1} \quad \delta_{21} = -1,7498120 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 1,2208488 \cdot 10^{-1}$$

$$|\delta_{22}| = \max \delta_{22} = \delta^* = 1,2208488 \cdot 10^{-1} \quad P_1(2s_5) \text{ нет.}$$

$$v_1^{10} = 1,9140031 \quad v_2^{10} = 1,7377713 \quad v_3^{10} = 3,2756773$$

$$v_1^{11} = 1,4332749 \cdot 10^{-2} \quad v_2^{11} = 2,1037143 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{11} = 2,8738717 \cdot 10^{-1}$$

$$v_4^{10} = 6,2951025 \quad v_5^{10} = 2,7934864$$

$$v_4^{11} = -3,8251711 \cdot 10^{-1} \quad v_5^{11} = -2,9891437 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{k} = 6. \quad (a^1)' &= P_1(6, 1 | 5, 4)a^1 = \\
 &= P_1(6, 1 | 5, 4)(0,13; -0,07; 0,11; 0,09; -0,03; 0,07; -0,95) = \\
 &= P_1(5, 4)(0,07; -0,07; 0,11; 0,09; -0,03; 0,13; -0,95) = \\
 &= (0,07; -0,07; 0,11; -0,03; 0,09; 0,13; -0,95)
 \end{aligned}$$

$$\delta_{10} = -6,1383260 \cdot 10^{-2} \quad \delta_{11} = 1,0230542 \cdot 10^{-2} = \delta^*$$

$$v_1^{00} = 6,0000007 \quad v_2^{00} = 1,9999996 \quad v_3^{00} = 3 \quad v_4^{00} = 5,0000005$$

$$v_5^{00} = 3,9999996 \quad v_6^{00} = 1 \quad (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) =$$

$$\begin{aligned}
 &= P_1(5, 4 | 6, 1)(6,0000007; 1,99999996; 3; 5,0000005; 3,99999996; 1) = \\
 &= P_1(6, 1)(6,0000007; 1,99999996; 3; 3,99999996; 5,0000005; 1) = \\
 &= (1; 1,99999996; 3; 3,99999996; 5,0000005; 6,0000007)
 \end{aligned}$$

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x	1	2	3	4	5	6
\bar{x}	1	1,99999996	3	3,99999996	5,0000005	6,0000007
ε	0	$4 \cdot 10^{-7}$	0	$4 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$

$$\det A = (-1)^2 \prod_{i=1}^6 \delta_{ii}^* = 1,0735356 \cdot 10^{-6}.$$

Решим эту систему методом Гаусса с выбором главного элемента по столбцу. Для 1-го столбца за главный элемент взяли $a_{11} = 0,13$, а остальные подчеркнуты.

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	b_i
1	<u>-5,3846153(1)</u> 3,0769232(2) 7,6923070(3) 5,3846154(2) 1,8461538(2) 2,2153846(1)	8,4615384(1) <u>-7,6923080(2)</u> 5,0769230(2) 1,5538462(1) -1,4615385(1) -1,1384615(1)	6,9230769(1) 4,6153845(2) 4,1538462(2) 1,0769231(2) 4,7692310(2) -1,8769231(1)	-2,3076923(1) 4,4615385(2) <u>-1,1384615(1)</u> 1,6307692(1) -6,9230769(2) 1,2923077(1)	5,3846153(1) 2,9230768(2) 3,2307693(2) -7,3846154(2) 6,1538460(2) -1,0153846(1)	7,3076923 4,1384615(1) -4,1538460(2) 9,8923077(1) -1,8769231(1) -6,1230770(1)
	1	<u>-5,1388887(1)</u> -6,1111114(2) 5,4722221(2) <u>1,8305556(1)</u> -1,3666667(1)	-8,4722223(1) 7,2222222(2) 4,8055556(2) 5,6388890(2) 6,3333335(2)	5,8333334(1) 2,6666666(2) <u>-1,1833333(1)</u> 1,3166666(1) -8,0000000(2)	-4,5833332(1) 4,3333332(2) 3,5833334(2) -4,9166667(2) 6,9999998(2)	-2,7638889 4,9888889(1) -2,0277778(2) 1,1380556 -1,3666667(1)
		1	3,0804248(1) 9,1047041(2) 3,1198787(2) <u>1,0543247(1)</u>	7,1927156(1) 7,0622152(2) <u>-1,5769347(1)</u> 1,8300448(2)	-2,6858876(1) 2,6919574(2) 5,0531107(2) 3,3292867(2)	6,2169955 8,7881641(1) -3,6048558(1) 7,1298940(1)
			1	1,7357506(1) 5,4818656(2) <u>-1,6310880(1)</u>	3,1577432(1) -1,8307430(3) 4,0679331(2)	6,7625220 2,6310879(1) -5,7146806(1)
				1	-2,4939997(1) <u>1,1841028(2)</u>	3,5036004 7,1046120(2)
1	2	3	4	5	6	x
1,0000012	1,9999999	2,9999992	4,0000022	4,9999992	5,9999959	\bar{x}
12(7)	1(7)	8(7)	22(7)	8(7)	41(7)	ε_T

Выражение $a(n)$ в этой таблице означает $a \cdot 10^{-n}$.

Составим сравнительную таблицу для погрешностей.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
ε	0	$4 \cdot 10^{-7}$	0	$4 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$

ε_Γ	$12 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-7}$	$22 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-7}$	$41 \cdot 10^{-7}$
$\varepsilon_\Gamma / \varepsilon$	24	0,25	16	5,5	1,6	6

При вычислении $\varepsilon_\Gamma / \varepsilon$ для значений $\varepsilon = 0$ взято $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-8}$, так как использовался 8-ми разрядный микрокалькулятор.

2. Алгоритм обращения матрицы 4-го порядка

Способ обращения матрицы описан в пункте 2 работы [1].

Величины и значения, заключенные в квадратные скобки [...], надо запомнить. Они используются для дальнейших вычислений.

$$\underline{k=1.} \quad (a^4)' = a^4 \quad \delta_{4j} = a_{4j} \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad \left| \delta_{4s_1} \right| = \max$$

$$\delta_{4s_1} = \delta^* \quad \delta_{44} \leftrightarrow \delta_{4s_1} \quad [\delta_{44} = \delta_{4s_1}] \quad \delta_{4s_1} = \delta_{44}$$

$$P_1(4s_1) \quad v_1^{3j} = -\delta_{4j} / \delta^* \quad j = 1, 2, 3 \quad [v_1^{33} = -\delta_{43} / \delta^*]$$

$$\underline{k=2.} \quad (a^3)' = P_1(4s_1)a^3 \quad \delta_{3j} = a_{3j} + a_{34}v_1^{3j} \quad j = 1, 2, 3$$

$$\left| \delta_{3s_2} \right| = \max \quad \delta_{3s_2} = \delta^* \quad \delta_{33} \leftrightarrow \delta_{3s_2} \quad [\delta_{33} = \delta_{3s_2}] \quad \delta_{3s_2} = \delta_{33} \quad P_1(3s_2)$$

$$v_1^{33} \leftrightarrow v_1^{3s_2} \quad v_1^{2j} = -\delta_{3j} / \delta^* \quad v_i^{2j} = v_{i-1}^{33}v_1^{2j} + v_{i-1}^{3j} \quad j = 1, 2 \quad i = 2$$

$$[v_1^{22} = -\delta_{32} / \delta^*] \quad [v_i^{22} = v_{i-1}^{33}v_1^{22} + v_{i-1}^{32}] \quad i = 2$$

$$\underline{k=3.} \quad (a^2)' = P_1(4s_1 | 3s_2)a^2 \quad \delta_{2j} = a_{2j} + a_{23}v_1^{2j} + a_{24}v_2^{2j} \quad j = 1, 2$$

$$\left| \delta_{2s_3} \right| = \max \quad \delta_{2s_3} = \delta^* \quad \delta_{22} \leftrightarrow \delta_{2s_3} \quad [\delta_{22} = \delta_{2s_3}] \quad \delta_{2s_3} = \delta_{22} \quad P_1(2s_3)$$

$$v_i^{22} \leftrightarrow v_i^{2s_3} \quad i = 1, 2$$

$$[v_1^{1j} = -\delta_{2j} / \delta^*] \quad [v_i^{1j} = v_{i-1}^{22}v_1^{1j} + v_{i-1}^{2j}] \quad j = 1 \quad i = 2, 3$$

$$\underline{k=4.} \quad (a^1)' = P_1(4s_1 | 3s_2 | 2s_3)a^1$$

$$[\delta_{1j}] = a_{1j} + a_{12}v_1^{1j} + a_{13}v_2^{1j} + a_{14}v_3^{1j} \quad j = 1$$

$$\underline{s = 1.} \quad \underline{k = 1.} \quad (a^4)' = a^4 \quad v_1^{30} = 1/\delta_{44}$$

$$\underline{k = 2.} \quad (a^3)' = P_1(4s_1)a^3 \quad v_1^{20} = -a_{34}v_1^{30}/\delta_{33} \quad v_2^{20} = v_1^{33}v_1^{20} + v_1^{30}$$

$$\underline{k = 3.} \quad (a^2)' = P_1(4s_1 | 3s_2)a^2 \quad v_1^{10} = -(a_{23}v_1^{20} + a_{24}v_2^{20})/\delta_{22}$$

$$v_2^{10} = v_1^{22}v_1^{10} + v_1^{20} \quad v_3^{10} = v_2^{22}v_1^{10} + v_2^{20}$$

$$\underline{k = 4.} \quad (a^1)' = P_1(4s_1 | 3s_2 | 2s_3)a^1 \quad v_1^{00} = -(a_{12}v_1^{10} + a_{13}v_2^{10} + a_{14}v_3^{10})/\delta_{11}$$

$$v_2^{00} = v_1^{11}v_1^{00} + v_1^{10} \quad v_3^{00} = v_2^{11}v_1^{00} + v_2^{10} \quad v_4^{00} = v_3^{11}v_1^{00} + v_3^{10}$$

$$\underline{s = 2.} \quad \underline{k = 2.} \quad (a^3)' = P_1(4s_1)a^3 \quad v_1^{20} = 1/\delta_{33} \quad v_2^{20} = v_1^{33}v_1^{20}$$

$$\underline{k = 3.} \quad (a^2)' = P_1(4s_1 | 3s_2)a^2 \quad v_1^{10} = -(a_{23}v_1^{20} + a_{24}v_2^{20})/\delta_{22}$$

$$v_2^{10} = v_1^{22}v_1^{10} + v_1^{20} \quad v_3^{10} = v_2^{22}v_1^{10} + v_2^{20}$$

$$\underline{k = 4.} \quad (a^1)' = P_1(4s_1 | 3s_2 | 2s_3)a^1 \quad v_1^{00} = -(a_{12}v_1^{10} + a_{13}v_2^{10} + a_{14}v_3^{10})/\delta_{11}$$

$$v_2^{00} = v_1^{11}v_1^{00} + v_1^{10} \quad v_3^{00} = v_2^{11}v_1^{00} + v_2^{10} \quad v_4^{00} = v_3^{11}v_1^{00} + v_3^{10}$$

$$\underline{s = 3} \quad \underline{k = 3.} \quad (a^2)' = P_1(4s_1 | 3s_2)a^2$$

$$v_1^{10} = 1/\delta_{22} \quad v_2^{10} = v_1^{22}v_1^{10} \quad v_3^{10} = v_2^{22}v_1^{10}$$

$$\underline{k = 4.} \quad (a^1)' = P_1(4s_1 | 3s_2 | 2s_3)a^1 \quad v_1^{00} = -(a_{12}v_1^{10} + a_{13}v_2^{10} + a_{14}v_3^{10})/\delta_{11}$$

$$v_2^{00} = v_1^{11}v_1^{00} + v_1^{10} \quad v_3^{00} = v_2^{11}v_1^{00} + v_2^{10} \quad v_4^{00} = v_3^{11}v_1^{00} + v_3^{10}$$

$$\underline{s = 4.} \quad \underline{k = 4.} \quad (a^1)' = P_1(4s_1 | 3s_2 | 2s_3)a^1$$

$$v_1^{00} = 1/\delta_{11} \quad v_2^{00} = v_1^{11}v_1^{00} \quad v_3^{00} = v_2^{11}v_1^{00} \quad v_4^{00} = v_3^{11}v_1^{00}$$

Решения v_i^{00} ($i = 1, 2, 3, 4$), полученные для каждого номера $s = 1, 2, 3, 4$, преобразуем в векторы

$x^s = [P_1(2s_3 | 3s_2 | 4s_1)(v_1^{00}, v_2^{00}, v_3^{00}, v_4^{00})^s]^T$, которые располагаем в матрице A_-^{-1} в $(n+1-s)$ -м столбце. Обратная матрица $A^{-1} = P_-^l A_-^{-1}$ находится по формуле (2.19)[1].

Пример 3. Найти обратную матрицу для матрицы

$$A = \begin{vmatrix} 1 & -2 & 3 & -1 \\ 2 & 3 & -4 & 4 \\ 3 & 1 & -2 & -2 \\ 1 & -3 & 7 & 6 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

нормы строк которой равны: $\|a\|_1 = 7$ $\|a\|_2 = 13$ $\|a\|_3 = 8$ $\|a\|_4 = 17$; расположив их в порядке убывания по строкам, получим перестановочную комбинацию строк $P_-(1, 4)$.

Матрица A после перестановки строк примет вид

$$A_- = \begin{vmatrix} 1 & -3 & 7 & 6 \\ 2 & 3 & -4 & 4 \\ 3 & 1 & -2 & -2 \\ 1 & -2 & 3 & -1 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

к которой применим алгоритм обращения матрицы.

$k = 1$.

$$(a^4)' = a^4 = (1, -2, 3, -1) \quad \delta_{41} = 1 \quad \delta_{42} = -2 \quad \underline{\delta_{43} = 3} \quad \underline{\delta_{44} = -1}$$

$$|\delta_{43}| = \max \delta_{43} = \delta^* = 3 \Rightarrow \delta_{43} \leftrightarrow \delta_{44} \quad \delta_{43} = -1 \quad [\delta_{44} = 3] \quad P_1(4, 3)$$

$$\underline{v_1^{31} = -3,3333333 \cdot 10^{-1}} \quad \underline{v_1^{32} = 6,6666666 \cdot 10^{-1}} \quad \underline{v_1^{33} = 3,3333333 \cdot 10^{-1}}$$

$$v_1^{31} \leftrightarrow v_1^{33} \Rightarrow v_1^{31} = 3,3333333 \cdot 10^{-1} \quad [v_1^{33} = -3,3333333 \cdot 10^{-1}]$$

$k = 2$. $(a^3)' = P_1(4, 3)a^3 = P_1(4, 3)(3, 1, -2, -2) = (3, 1, -2, -2)$

$$\underline{\delta_{31} = 3,6666667} \quad \underline{\delta_{32} = -3,3333330 \cdot 10^{-1}} \quad \underline{\delta_{33} = -2,6666667}$$

$$|\delta_{31}| = \max \delta_{31} = \delta^* = 3,6666667 \Rightarrow \delta_{31} \leftrightarrow \delta_{33} \quad \delta_{31} = -2,6666667$$

$$[\delta_{33} = 3,6666667] \quad P_1(3, 1)$$

$$\underline{v_1^{21} = 7,2727272 \cdot 10^{-1}} \quad \underline{v_1^{22} = 9,0909080 \cdot 10^{-2}}$$

$$\underline{v_2^{21} = 9,0909090 \cdot 10^{-2}} \quad \underline{v_2^{22} = 6,3636363 \cdot 10^{-1}}$$

$$v_1^{21} \leftrightarrow v_1^{22} \Rightarrow v_1^{21} = 9,0909080 \cdot 10^{-2} \quad [v_1^{22} = 7,2727272 \cdot 10^{-1}]$$

$$v_2^{21} \leftrightarrow v_2^{22} \Rightarrow v_2^{21} = 6,3636363 \cdot 10^{-1} \quad [v_2^{22} = 9,0909090 \cdot 10^{-2}]$$

$$\underline{k = 3.} \quad (a^2)' = P_1(4, 3 | 3, 1)a^2 = P_1(4, 3 | 3, 1)(2, 3, -4, 4) = \\ = P_1(3, 1)(2, 3, 4, -4) = (4, 3, 2, -4)$$

$$\underline{\delta_{21} = 5,0909090} \quad \underline{\delta_{22} = 6,3636370 \cdot 10^{-1}} \quad |\delta_{21}| = \max$$

$$\delta_{21} = \delta^* = 5,0909090 \Rightarrow \delta_{21} \leftrightarrow \delta_{22} \quad \delta_{21} = 6,3636370 \cdot 10^{-1}$$

$$[\delta_{22} = 5,0909090] \quad P_1(2, 1)$$

$$[v_1^{11} = -1,2500001 \cdot 10^{-1}] \quad [v_2^{11} = -1,7000000 \cdot 10^{-8}]$$

$$[v_3^{11} = 6,2499999 \cdot 10^{-1}]$$

$$\underline{k = 4.} \quad (a^1)' = P_1(4, 3 | 3, 1 | 2, 1)a^1 = P_1(4, 3 | 3, 1 | 2, 1)(1, -3, 7, 6) = \\ = P_1(3, 1 | 2, 1)(1, -3, 6, 7) = P_1(2, 1)(6, -3, 1, 7) = (-3, 6, 1, 7)$$

$$[\delta_{11} = 6,2499980 \cdot 10^{-1}] \quad \delta_{11} = \delta^*$$

s = 1.

$$v_1^{30} = 3,3333333 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{10} = 1,4285715 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{00} = -5,0285731$$

$$v_1^{20} = 1,8181817 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{10} = 2,8571428 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{00} = 7,7142883 \cdot 10^{-1}$$

$$v_2^{20} = 2,7272727 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{10} = 2,8571428 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{00} = 2,8571437 \cdot 10^{-1}$$

$$v_4^{00} = -2,8571438$$

s = 2.

$$v_1^{20} = 2,7272727 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{10} = -1,7857142 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{00} = 2,6857149$$

$$v_2^{20} = -9,0909089 \cdot 10^{-2} \quad v_2^{10} = 1,4285715 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{00} = -5,1428580 \cdot 10^{-1}$$

$$v_3^{10} = -1,0714285 \cdot 10^{-1} \quad v_3^{00} = 1,4285710 \cdot 10^{-1}$$

$$v_4^{00} = 1,5714290$$

$$\underline{s = 3.} \quad v_1^{10} = 1,9642857 \cdot 10^{-1} \quad v_1^{00} = -2,3142863$$

$$v_2^{10} = 1,9285714 \cdot 10^{-1} \quad v_2^{00} = 4,8571438 \cdot 10^{-1}$$

$$v_3^{10} = 1,7857143 \cdot 10^{-2} \quad v_3^{00} = 1,4285718 \cdot 10^{-1}$$

$$v_4^{00} = -1,4285718$$

$$s = 4. \quad v_1^{00} = 1,6000005 \quad v_3^{00} = -2,7200008 \cdot 10^{-8}$$

$$v_2^{00} = -2,0000007 \cdot 10^{-1} \quad v_4^{00} = 1,0000003$$

Векторы $x^s = [P_1(2, 1 | 3, 1 | 4, 3)(v_1^{00}, v_2^{00}, v_3^{00}, v_4^{00})^s]^T$, $s = 1, 2, 3, 4$

располагаем в матрице A_-^{-1} по номеру $j = (4 + 1 - s)$:

$$A_-^{-1} = \begin{vmatrix} -2,7200008(8) & 1,4285718(1) & 1,4285710(1) & 2,8571437(1) \\ 1,6000005 & -2,3142863 & 2,6857149 & -5,0285731 \\ 1,0000003 & -1,4285718 & 1,5714290 & -2,8571438 \\ -2,0000007(1) & 4,8571438(1) & -5,1428580(1) & 7,7142883(1) \end{vmatrix} \quad (5)$$

Здесь и ниже выражение $a(n)$ означает $a \cdot 10^{-n}$. Применим к матрице (5) перестановку $P_-(1, 4)$ по столбцам: $P_-(1, 4)A_-^{-1} = A^{-1}$.

$$A^{-1} = \begin{vmatrix} 2,8571437(1) & 1,4285718(1) & 1,4285710(1) & -2,7200008(8) \\ -5,0285731 & -2,3142863 & 2,6857149 & 1,6000005 \\ -2,8571438 & -1,4285718 & 1,5714290 & 1,0000003 \\ 7,7142883(1) & 4,8571438(1) & -5,1428580(1) & -2,0000007(1) \end{vmatrix} \quad (6)$$

Перемножив матрицы (3) и (6), получим единичную матрицу:

$$A \cdot A^{-1} = E = \begin{vmatrix} 1,0000002 & 2 \cdot 10^{-8} & 1 \cdot 10^{-7} & -3 \cdot 10^{-8} \\ 3 \cdot 10^{-7} & 1,0000002 & -3 \cdot 10^{-7} & 2 \cdot 10^{-8} \\ -1 \cdot 10^{-7} & 4 \cdot 10^{-8} & 0,9999998 & -6 \cdot 10^{-8} \\ -1 \cdot 10^{-6} & -7 \cdot 10^{-7} & 2 \cdot 10^{-7} & 1,0000002 \end{vmatrix} \quad (7)$$

Литература

1. Недосекин Ю.А. Полисистемный метод решения неоднородной системы линейных алгебраических уравнений. «Доклады независимых авторов», изд. «ДНА», Россия-Израиль, 2005, вып. 1.

Хмельник С.И.

Уравнение Пуассона и квадратичное программирование

Аннотация

Показывается, что некоторая электрическая цепь является моделью уравнения Пуассона. В этой электрической цепи минимизируется квадратичный функционал от функции тока, как функции трех аргументов. Функционал имеет глобальный безусловный минимум, а стационарное значение функции тока имеет вид уравнения Пуассона. При этом расчет электрической цепи и, следовательно, решение уравнения Пуассона сводится к градиентному спуску по данному функционалу. Предлагаемый метод пригоден для расчета однородных и неоднородных сред. Кроме того, этот метод позволяет находить аналитическое выражение искомой функции, если исходные функции заданы аналитически

Разработка расчетных программ может быть заказана автору по адресу solik@netvision.net.il

Оглавление

1. Введение
2. Уравнения непрерывной электрической линии
3. Функционал для непрерывной электрической линии
4. Функционал для непрерывного электрического объёма
5. Функционал для неоднородного непрерывного электрического объёма

1. Введение

Обозначим:

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где U - функция аргументов x, y, z . Уравнения Лапласа и Пуассона относительно функции U , как известно [1], имеют соответственно следующий вид:

$$\Delta U = 0, \quad (2)$$

$$\Delta U = f(x, y, z), \quad (3)$$

где $f(x, y, z)$ - известная функция. Уравнение (3) можно назвать уравнением Пуассона для *однородной среды*. Рассмотрим еще уравнение

$$\alpha(x, y, z) \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \beta(x, y, z) \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \lambda(x, y, z) \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = f(x, y, z), \quad (4)$$

где $\alpha(x, y, z)$, $\beta(x, y, z)$, $\lambda(x, y, z)$, $f(x, y, z)$ - известные функции. Это уравнение можно назвать уравнением Пуассона для *неоднородной среды*.

Указанные уравнения широко используются в технике и потому представляет интерес поиск быстродействующего метода для их решения. Далее показывается, что некоторая электрическая цепь является моделью уравнения Пуассона. Эта электрическая цепь содержит трансформаторы мгновенных значений, которые в дальнейшем будем называть *трансформаторами Денниса - ТД*. Деннис предложил эти трансформаторы, как умозрительную конструкцию, и разработал теорию электрических цепей, содержащих эти трансформаторы [2]. Он показал, что такие электрические цепи являются моделью задачи квадратичного программирования. Автор использовал эти результаты и предложил, в частности, безусловные электрические цепи, которые моделируют задачу безусловного квадратичного программирования [3]. При этом любая электрическая цепь может быть с заданной точностью заменена безусловной электрической цепью. Эти результаты используются ниже для того, чтобы решить уравнение Пуассона, как задачу поиска безусловного глобального минимума некоторого функционала. При этом для ускорения поиска может быть использован метод сопряженного градиента [4].

В [3] показано, что в безусловной электрической цепи минимизируется функция

$$F(i) = \frac{1}{2} \cdot i^T \bar{R} \cdot i - \bar{E}^T i, \quad (1)$$

где

$$\bar{R} = R + \rho \cdot (N^T \cdot N + T \cdot T^T), \quad (2)$$

$$\bar{E} = E - \rho \cdot (H^T N + V^T T^T), \quad (3)$$

N - матрица инцидентий,

T - матрица коэффициентов трансформации ТД,

H – вектор источников узлового тока,

V – вектор источников узлового тока в трансформаторных узлах,

E – вектор источников напряжения в ветвях цепи,

R – диагональная матрица сопротивлений в ветвях цепи,

$1/\rho$ – проводимость между узлом и нулевым потенциалом.

Необходимое условия безусловного минимума функции (1) имеет вид уравнения

$$\bar{R} \cdot i - \bar{E} = 0, \quad (4)$$

а поиск минимума функции (1) выполняется спуском по градиенту

$$p = \bar{R} \cdot i - \bar{E}, \quad (5)$$

Оптимальное значение шага определяется из условия

$$a = \frac{p^T p}{p^T \bar{R} \cdot p} \quad (6)$$

2. Уравнения дискретной электрической линии

Будем называть электрическую линию, составленную из конечных элементов (в отличие от элементов, величина которых отнесена к элементу длины линии), *дискретной электрической линией*. На рис. 1 изображена двухпроводная дискретная электрическая линия, где

a , b – узлы первой и второй линии соответственно,

$1/\rho$ – проводимость между узлом и нулевым потенциалом,

h – источник одноименного тока [5],

d – трансформатор Денниса с единичным коэффициентом трансформации,

r – сопротивление элемента длины первой линии,

i_1 – ток вдоль элемента длины первой линии,

i_2 – первичный ток трансформатора Денниса,

i_3 – вторичный ток трансформатора Денниса.

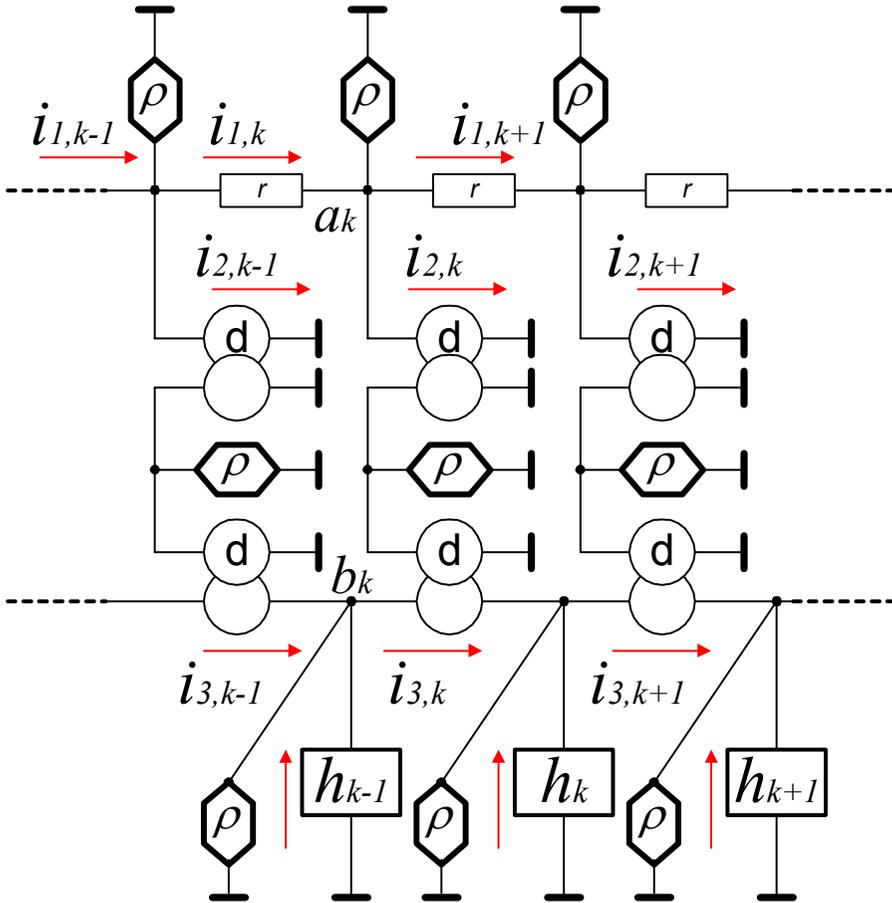


Рис. 1. Длинная линия.

По краям линии есть особенности. Рассмотрим для иллюстрации электрическую линию с тремя узлами – см. рис. 2, где заштрихованными кругами обозначены источники концевых токов $i_{1,0}$, $i_{1,n}$, $i_{3,1}$, $i_{3,n}$. Некоторые из них могут отсутствовать, но это не означает, что соответствующие токи равны нулю.

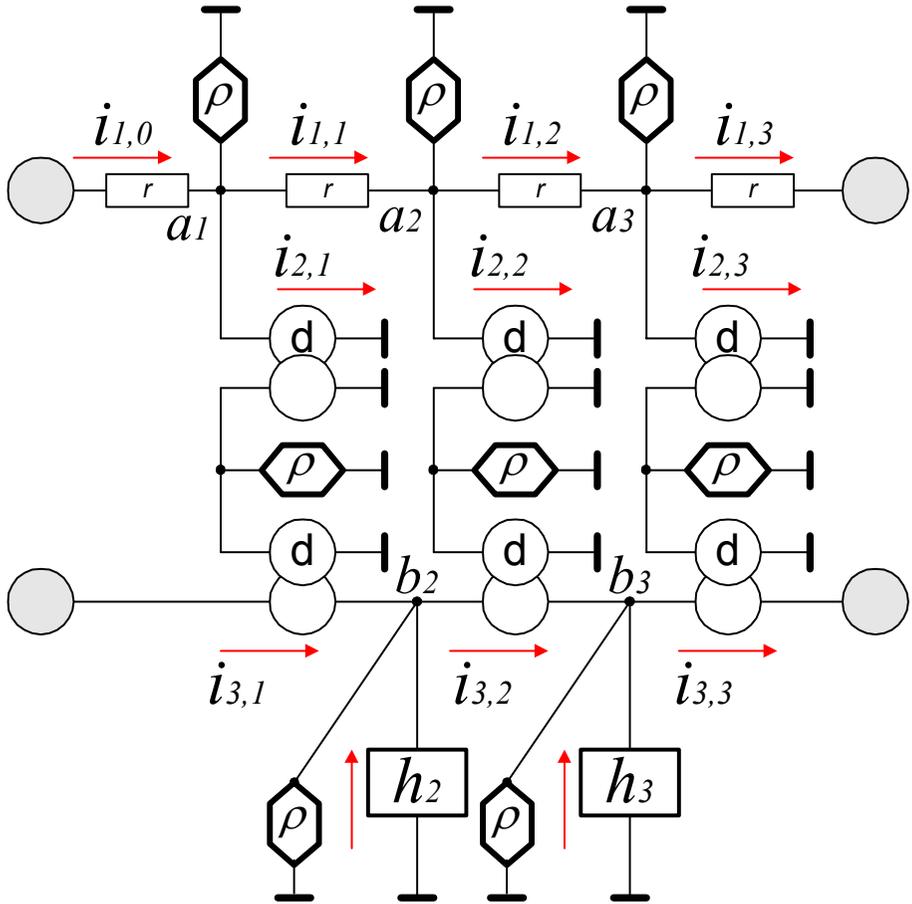


Рис. 2. Краевые условия.

Для анализа двухпроводной дискретной электрической линии будем использовать теорию, изложенную в [3], и воспользуемся методом, который применен в [8] для анализа однопроводной дискретной электрической линии. В соответствии с этим электрическая цепь дискретной электрической линии может быть представлена безусловной электрической цепью. Рассмотрим n -мерные векторы

$$i_1 = \begin{vmatrix} i_{1,0} \\ \dots \\ i_{1,k} \\ i_{1,k+1} \\ \dots \\ i_{1,n} \end{vmatrix}, \quad i_2 = \begin{vmatrix} i_{2,1} \\ \dots \\ i_{2,k} \\ i_{2,k+1} \\ \dots \\ i_{2,n} \end{vmatrix}, \quad i_3 = \begin{vmatrix} i_{3,1} \\ \dots \\ i_{3,k} \\ i_{3,k+1} \\ \dots \\ i_{3,n} \end{vmatrix}, \quad i = \begin{vmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{vmatrix},$$

$$h = \begin{vmatrix} h_2 \\ \dots \\ h_k \\ h_{k+1} \\ \dots \\ h_n \end{vmatrix}, \quad H^T = \left\langle \begin{matrix} 00\dots 0 \\ 2n+1 \end{matrix} \middle| \begin{matrix} h^T \\ n-1 \end{matrix} \right\rangle, \quad R = \text{diag} \left(\begin{matrix} \dots r \dots \\ n+1 \end{matrix} \right).$$

Первый закон Кирхгофа для узлов и имеет соответственно вид:

$$i_{1,k} - i_{1,k+1} - i_{2,k} = 0, \tag{1}$$

$$i_{3,k} - i_{3,k+1} + h_k = 0. \tag{2}$$

Поэтому матрица инцидентий имеет вид:

$$N = \begin{vmatrix} \underline{(N_2')} & (-D_1) & (0) & \} n \\ \underline{(0)} & \underline{(0)} & \underline{(N_2'')} & \} n-1 \\ n+1 & n & n & \end{vmatrix}, \tag{3}$$

где указаны размерности и

D_1 - квадратная $n*n$ диагональная единичная матрица,

N_2 - ленточная матрица вида

$$N_2 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{4}$$

При этом следующее произведение является квадратной клеточной матрицей

$$N^T N = \begin{vmatrix} (N'_1) & (-N_2'^T) & (0) & \}n-1 \\ (-N_2') & (D_1) & (0) & \}n \\ (0) & (0) & (N_1'') & \}n-2 \\ \hline n-1 & n & n-2 & \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где N_1 - ленточная квадратная матрица вида

$$N_1 = \begin{vmatrix} 2 & -1 & & & & & \\ -1 & 2 & -1 & & & & \\ & -1 & 2 & -1 & & & \\ & & \dots & \dots & \dots & & \\ & & & -1 & 2 & -1 & \\ & & & & -1 & 2 & -1 \\ & & & & & -1 & 2 \end{vmatrix} \quad (6)$$

Матрица $T\Delta$ должна удовлетворять условию

$$T^T i = 0 \quad (7)$$

и поэтому имеет вид:

$$T^T = |0 \quad D_1 \quad -D_1|. \quad (8)$$

При этом

$$T \cdot T^T = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & D_1 & -D_1 \\ 0 & -D_1 & D_1 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Из (1.2), (5) и (9) следует

$$\bar{R} = \begin{vmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \rho \begin{vmatrix} N_1' & -N_2'^T & 0 \\ -N_2' & 2D_1 & -D_1 \\ 0 & -D_1 & (N_1'' + D_1) \end{vmatrix}, \quad (10)$$

Из рисунков и формул (1.3), (3) следует

$$\bar{E} = -\rho \cdot \left. \begin{array}{c} 0 \\ \dots \\ 0 \end{array} \right\} n+1 \left| \begin{array}{c} 0 \\ \dots \\ 0 \end{array} \right\} n, \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{c} 0 \\ (N_2^{nT} h) \end{array} \right\} n-1$$

Таким образом, как следует из (1.1) и (1.5), в рассматриваемой электрической цепи минимизируется функция

$$F(i) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{R}{2} i_1^T i_1 + \rho \cdot h \cdot N_2' i_3 + \\ + \frac{\rho}{2} \cdot \left(i_1^T N_1' i_1 - 2i_1^T N_2' i_2 + 2i_2^T i_2 \right) \\ \left(-2i_2^T i_3 + i_3^T N_1'' i_3 + i_3^T i_3 \right) \end{array} \right\}, \quad (12)$$

а поиск минимума функции (12) выполняется спуском по градиенту

$$p = \left| \begin{array}{l} Ri_1 + \rho \cdot (N_1' i_1 - N_2 i_2) \\ \rho \cdot (-N_2^{nT} i_1 + 2D_1 i_2 - D_1 i_3) \\ \rho \cdot (-D_1 i_2 + (N_1'' + D_1) i_3 + N_2^{nT} h) \end{array} \right|. \quad (13)$$

Оптимальное значение шага определяется из (1.6). Как указывалось, по краям электрической линии могут быть установлены источники концевых токов $i_{1,0}$, $i_{1,n}$, $i_{3,1}$, $i_{3,n}$. Если какие-либо из этих источников отсутствуют, то соответствующие токи вычисляются. Если какие-либо из этих источников присутствуют, то задача поиска безусловного минимума превращается в задачу поиска минимума при ограничениях вида $i_g = \text{const}$, где $i_g \in \{i_{1,0}, i_{1,n}, i_{3,1}, i_{3,n}\}$.

Обозначим символами $i_{1\Rightarrow}$, $i_{1\Leftarrow}$ векторы, смещенные по линии вправо и влево соответственно относительно вектора i_1 :

$$\text{если } i_1 = \begin{pmatrix} i_{1,1} \\ i_{1,2} \\ i_{1,3} \\ \dots \\ i_{1,n-1} \\ i_{1,n} \end{pmatrix}, \text{ то } i_{1\Rightarrow} = \begin{pmatrix} 0 \\ i_{1,2} \\ i_{1,3} \\ i_{1,4} \\ \dots \\ i_{1,n-1} \end{pmatrix}, \quad i_{1\Leftarrow} = \begin{pmatrix} i_{1,2} \\ i_{1,3} \\ i_{1,4} \\ \dots \\ i_{1,n-1} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Рассматривая матрицы N_1 и N_2 , замечаем, что

$$N_1 i_1 = (2i_1 - i_{1\Rightarrow} - i_{1\Leftarrow}), \tag{14}$$

$$N_2 i_1 = (i_1 - i_{1\Rightarrow}), \tag{15}$$

$$N_2^T i_1 = (i_1 - i_{1\Leftarrow}), \tag{16}$$

3. Функционал для непрерывной электрической линии

Переходя от элементов дискретной электрической линии вновь к дифференциалам длины линии можно вектор-функцию i рассматривать как функцию координаты линии z , т.е. $i = i(z)$. Тогда

$$(2i - i_{\Rightarrow} - i_{\Leftarrow}) = -\frac{\partial^2 i(z)}{\partial z^2},$$

$$(i - i_{\Rightarrow}) = -\frac{\partial i(z)}{\partial z}$$

$$(i - i_{\Leftarrow}) = \frac{\partial i(z)}{\partial z}$$

и, учитывая (2.14, 2.15, 2.16), получаем

$$N_1 \cdot i_1 = -\frac{\partial^2 i_1(z)}{\partial z^2}, \tag{1}$$

$$N_2 \cdot i_2 = -\frac{\partial i_2(z)}{\partial z}, \tag{2}$$

$$N_2^T \cdot i_2 = \frac{\partial i_2(z)}{\partial z}, \quad (2a)$$

При этом из (2.13) получаем:

$$p = \begin{pmatrix} ri_1 + \rho \cdot \left(-\frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} + \frac{\partial i_2}{\partial z} \right) \\ \rho \cdot \left(-\frac{\partial i_1}{\partial z} + 2i_2 - i_3 \right) \\ \rho \cdot \left(-i_2 - \frac{\partial^2 i_3}{\partial z^2} + i_3 + \frac{\partial h}{\partial z} \right) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

а (2.12) принимает вид:

$$F(i(z)) = \oint_z \left\{ \begin{array}{l} \frac{r}{2} i_1^2 + \rho \cdot h \cdot \frac{\partial i_3}{\partial z} + \\ \left(-i_1 \frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} + 2i_1 \frac{\partial i_2}{\partial z} + 2i_2^2 \right) \\ + \frac{\rho}{2} \cdot \left(-2i_2 i_3 - i_3 \frac{\partial^2 i_3}{\partial z^2} + i_3^2 \right) \end{array} \right\} dz, \quad (4)$$

Итак, (4) является функционалом по функции $i = i(z)$. Из аналогии с дискретной линией следует, что расчет рассматриваемой непрерывной электрической линии состоит в поиске минимума функционала (4), который выполняется спуском по градиенту (3). Оптимальное значение шага определяется в соответствии с (1.6) по формуле

$$a = \frac{\oint_z (p^T p \cdot dz)}{\oint_z (p^T \bar{R} \cdot p \cdot dz)} \quad (4a)$$

Можно заметить, что выражение

$$p(z) = 0, \quad (5)$$

где $p(z)$ определено по (3), является уравнением Эйлера для функционала (4). Таким образом, (5) является условием минимума функционала (4), что следует и из аналогии с дискретной линией, и из формульных преобразований.

Из физических соображений ясно, что

$$i_2 \approx i_3, \text{ if } \rho \rightarrow \infty, \tag{6}$$

Отсюда и из (3) и (5) следует, что в окрестности минимума

$$\left| \begin{array}{l} ri_1 + \rho \cdot \left(-\frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} + \frac{\partial i_3}{\partial z} \right) \\ \rho \cdot \left(-\frac{\partial i_1}{\partial z} + i_3 \right) \\ \rho \cdot \left(-\frac{\partial^2 i_3}{\partial z^2} + \frac{\partial h}{\partial z} \right) \end{array} \right| \approx 0, \tag{7}$$

или

$$ri_1 + \rho \cdot \left(-\frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} + \frac{\partial i_3}{\partial z} \right) \approx 0, \tag{8}$$

$$\frac{\partial i_1}{\partial z} + i_3 \approx 0, \tag{9}$$

$$-\frac{\partial^2 i_3}{\partial z^2} + \frac{\partial h}{\partial z} \approx 0. \tag{10}$$

Из (10) и (9) получаем:

$$\frac{\partial^3 i_1}{\partial z^3} \approx \frac{\partial h}{\partial z} \tag{12}$$

или

$$\frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2}(z) \approx h(z), \tag{13}$$

Таким образом, расчет непрерывной линии эквивалентен решению уравнения (13).

Рассмотрим оператор, построенный на основе (2.10), (1), (2):

$$\mathfrak{R} = \left| \begin{array}{ccc} \left(r - \rho \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) & \left(\rho \frac{\partial}{\partial z} \right) & 0 \\ \left(\rho \frac{\partial}{\partial z} \right) & (2\rho) & (-\rho) \\ 0 & (-\rho) & \left(\rho - \rho \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \end{array} \right|, \tag{14}$$

Сравнивая (1.5), (2.13) и (3), можно заметить, что

$$p = \Re(i) + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho \frac{\partial h}{\partial z} \end{vmatrix}, \quad (15)$$

а функционал (4) принимает вид:

$$F(i(z)) = \oint_z \left\{ \frac{1}{2} i^T \cdot \Re(i) + \rho \cdot h \cdot \frac{\partial i_3}{\partial z} \right\} dz, \quad (16)$$

см. также (1.1). Оптимальное значение шага определяется в соответствии с (4а) по формуле

$$a = \frac{\oint_z (p^T p \cdot dz)}{\oint_z (p^T \Re(p) \cdot dz)} \quad (17)$$

Как и в дискретном случае, по краям электрической линии могут быть установлены источники концевых токов $i_1(z_0), i_1(z_n), i_3(z_0), i_3(z_n)$. Если какие-либо из этих источников отсутствуют, то соответствующие токи вычисляются. Если какие-либо из этих источников присутствуют, то задача поиска безусловного минимума превращается в задачу поиска минимума при ограничениях вида $i_g = \text{const}$, где $i_g \in \{i_1(z_0), i_1(z_n), i_3(z_0), i_3(z_n)\}$. В соответствии с (9) можем записать

$$i_3(z_0) = \frac{\partial i_1}{\partial z}(z_0), \quad i_3(z_n) = \frac{\partial i_1}{\partial z}(z_n).$$

Таким образом, все начальные значения токов могут быть выражены через величины $i_1(z_0), i_1(z_n), \frac{\partial i_1}{\partial z}(z_0), \frac{\partial i_1}{\partial z}(z_n)$.

4. Функционал для непрерывного электрического объёма

Электрическим объёмом будем называть трехмерное пространство с координатами x, y, z , в котором каждая точка является пересечением трех ортогональных двухпроводных электрических

линий. Заметим, что в [8] для похожей задачи уже рассматривалась электрическая плоскость. Смысл анализа электрического объема состоит в том, что (как будет показано далее) он является наглядной и вычислительной моделью уравнений Лапласа и Пуассона [1]. Обозначим:

$$\Delta'U = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial z},$$

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}.$$

Можно показать по аналогии с предыдущим, что для электрического объема

$$\mathfrak{R} = \begin{vmatrix} (r - \rho\Delta) & (\rho\Delta') & 0 \\ (\rho\Delta') & (2\rho) & (-\rho) \\ 0 & (-\rho) & (\rho - \rho\Delta) \end{vmatrix}, \tag{0}$$

$$p = \mathfrak{R}(i) + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho \cdot \Delta' h \end{vmatrix}, \tag{1}$$

$$F(i) = \oint_z \left\{ \oint_y \left\{ \oint_x \left\{ \frac{1}{2} i^T \mathfrak{R}(i) + \rho \cdot h \cdot \Delta' i_3 \right\} dx \right\} dy \right\} dz. \tag{2}$$

Таким образом, расчет рассматриваемого непрерывного электрического объема состоит в поиске минимума функционала (2), который выполняется спуском по градиенту (1). Оптимальное значение шага определяется в соответствии с (3.17) по формуле

$$a = \frac{\oint_z \left\{ \oint_y \left\{ \oint_x \left\{ p^T p \right\} dx \right\} dy \right\} dz}{\oint_z \left\{ \oint_y \left\{ \oint_x \left\{ p^T \mathfrak{R}(p) \right\} dx \right\} dy \right\} dz} \tag{2a}$$

По аналогии с непрерывной электрической линией можно показать, что расчет непрерывного электрического объема эквивалентен решению уравнения

$$\Delta i_1(x, y, z) \approx h(x, y, z), \tag{3}$$

которое является уравнением Пуассона – см. (1.3). Итак, решение уравнения Пуассона эквивалентно поиску глобального безусловного минимума функционала (2), а стационарное значение функции тока $i_1(x, y, z)$ имеет вид уравнения Пуассона (3).

Как и для электрической линии, на границе электрического объема могут быть установлены источники граничных токов $i_1(x_g, y_g, z_g)$, $i_3(x_g, y_g, z_g)$, где (x_g, y_g, z_g) - координаты точек границы объема. Если какие-либо из этих источников отсутствуют, то соответствующие токи вычисляются. Если какие-либо из этих источников присутствуют, то задача поиска безусловного минимума превращается в задачу поиска минимума при ограничениях вида $i_g(\) = \text{const}$, где $i_g(\) = \{i_1(x_g, y_g, z_g), i_3(x_g, y_g, z_g)\}$. Но $i_3(0) = \Delta i_1(\)$. Таким образом, все граничные значения токов могут быть выражены через величины $i_1(0)$, $\Delta i_1(0)$.

Интересно отметить следующее. Классические методы решения уравнения Пуассона требуют, чтобы в каждой точке границы было указано либо значение искомой функции, либо значение некоторой функции, зависящей от трех частных производных искомой функции – иначе не может быть найдено единственное решение (т.н. задачи Дирихле и Неймана [6]). В нашем случае на точках граничных условия вообще могут не определяться, но все же будет получено единственное решение. Это следует из того, что функционал всегда имеет глобальный минимум.

5. Функционал для неоднородного непрерывного электрического объема

Выше предполагалось, что в каждой точке электрического объема включен источник тока h так, что $\Delta i_3 = h$ или (пренебрегая током в сопротивлении ρ)

$$\frac{\partial i_3}{\partial x} + \frac{\partial i_3}{\partial y} + \frac{\partial i_3}{\partial z} = h. \quad (1)$$

Далее будем предполагать, что в электрическом объеме каждой k -точке соответствуют три источника тока

$(\alpha_k \cdot h_k)$, $(\beta_k \cdot h_k)$, $(\gamma_k \cdot h_k)$, где все величины являются функциями координат. Это иллюстрируется на рис. 3, где

α , h , γ - трансформаторы Денниса с одноименными коэффициентами трансформации,

d - трансформатор Денниса с единичным коэффициентом трансформации,

i_{3x} , i_{3y} , i_{3z} - ток вторичной цепи по направлению координаты x , y , z соответственно (вторичная цепь по направлению z на рисунке не показана).

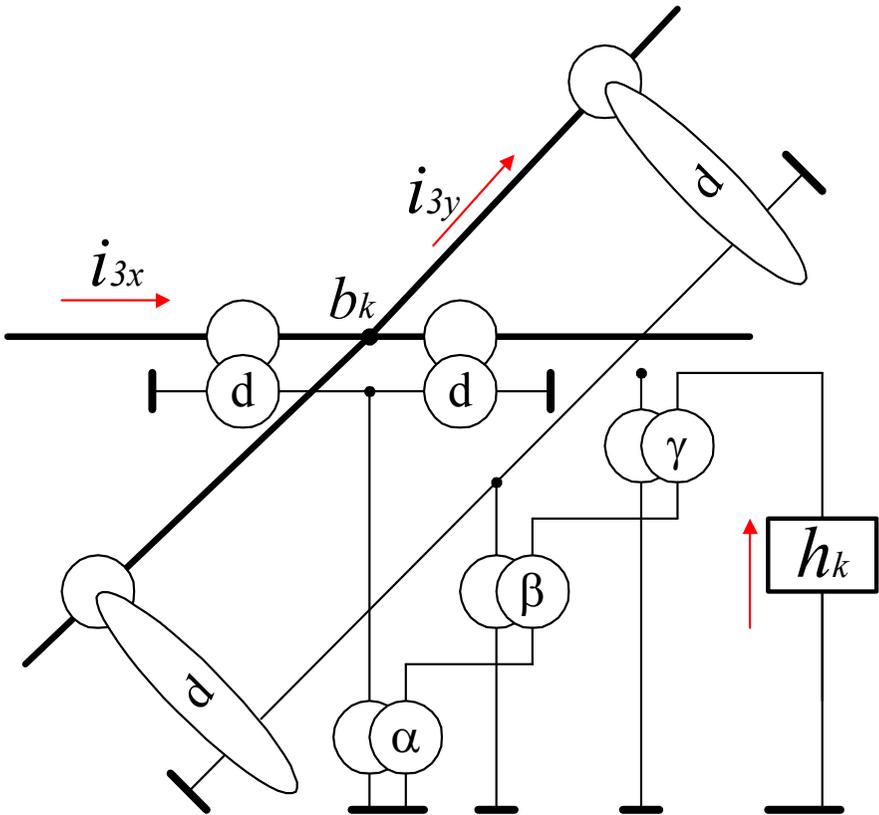


Рис. 3. Фрагмент неоднородного электрического объема.

При таком включении источника тока через трансформаторы выполняется условие

$$\alpha \frac{\partial i_3}{\partial x} + \beta \frac{\partial i_3}{\partial y} + \gamma \frac{\partial i_3}{\partial z} = h. \tag{2}$$

Можно убедиться, что при этом функционал (4.2) принимает вид

$$F(i) = \oint_z \left\{ \oint_y \left\{ \oint_x \left[\frac{1}{2} i^T \Re(i) + \rho h \left(\alpha \frac{\partial i_3}{\partial x} + \beta \frac{\partial i_3}{\partial y} + \gamma \frac{\partial i_3}{\partial z} \right) \right] dx \right\} dy \right\} dz, \quad (3)$$

а градиент (4.1) принимает вид

$$p = \Re(i) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho \cdot \left(\alpha \frac{\partial h}{\partial x} + \beta \frac{\partial h}{\partial y} + \gamma \frac{\partial h}{\partial z} \right) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где оператор \Re определяется по (4.0).

По аналогии с предыдущим можно показать, что расчет непрерывного электрического объема с тройными источниками тока эквивалентен решению уравнения

$$\left(\alpha_x \frac{\partial^2 i_1}{\partial x^2} + \beta_y \frac{\partial^2 i_1}{\partial y^2} + \gamma_z \frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} \right) \approx h(x, y, z), \quad (5)$$

которое является уравнением Пуассона для *неоднородной среды* (1.4). Итак, решение уравнения (5) эквивалентно поиску глобального безусловного минимума функционала (2), а стационарное значение функции тока $i_1(x, y, z)$ имеет вид этого уравнения.

После того, как функционалы для непрерывных электрической линии и объема получены, можно показать, что соответствующие градиенты удовлетворяют Эйлера-Пуассона [7], т.е. являются необходимым условием экстремума этих функционалов.

Важно отметить, что предлагаемый метод позволяет находить аналитическое выражение искомой функции, если исходные функции заданы аналитически.

Литература

1. Андре Анго. Математика для электро- и радионженеров, изд. «Наука», Москва, 1964, 772 с.
2. Dennis Jack B. Mathematical Programming and Electrical Networks, New York, 1959, Pages V1, 186 p. Деннис Дж. Б. Математическое программирование и электрические цепи. М.: ИЛ, 1961, 430 с
3. Хмельник С.И. Электрические цепи постоянного тока для моделирования и управления. Алгоритмы и аппаратура. Published by "MiC" - Mathematics in Computer Comp., printed in USA, Lulu Inc. № 113048. Израиль-Россия, 2004, 174 с
4. Зангвилл У.И. Нелинейное программирование. Единый подход. М.: Советское Радио, 1973, 312 с.

5. Бессонов Л.А. Линейные электрические цепи. Москва, изд. «Высшая школа», 1983.
6. Краснов М.Л., А.И. Киселев, Г.И. Макаренко, Е.В. Шикин, В.И. Заляпин, С.К. Соболев. Вся высшая математика, том 4, Эдиториал УРСС, Москва, 2001.
7. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление, Эдиториал УРСС, Москва, 2000.
8. Хмельник С.И. Вариационный принцип экстремума для электрических линий и плоскостей. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 1.

Серия: ФИЗИКА

Купряев Н.В.

К статье Н.В. Кравцова и В.В. Рагульского
“Использование кольцевого лазера для
исследования изотропии пространства”

Аннотация

Показано, что ожидаемый сдвиг частот встречных волн в предлагаемом Н.В. Кравцовым и В.В. Рагульским эксперименте с использованием кольцевого лазера, в одном из плеч которого находится конденсированная среда с отличным от единицы показателем преломления, и предназначенным по замыслу авторов для поиска возможной пространственной анизотропии скорости света, равен нулю, даже при наличии возможной анизотропии скорости света.

В ноябрьском номере “КЭ” за 2000 год была опубликована статья Н.В. Кравцова и В.В. Рагульского [1]: “Использование кольцевого лазера для исследования изотропии пространства”, в которой предлагался эксперимент, позволяющий с высокой точностью (до $10^{-21} \div 10^{-22}$) проверить эйнштейновский постулат о независимости скорости света от направления в пространстве, и, тем самым, подтвердить справедливость СТО.

Основой схемы предлагаемого эксперимента является кольцевой лазер с резонатором в виде “восьмерки” (для исключения влияния эффекта Саньяка на частоты генерируемых волн), часть резонатора которого заполнена прозрачной конденсированной средой с отличным от единицы показателем преломления n .

По замыслу авторов, время обхода световой волной резонатора, в одном из плеч которого находится конденсированная среда с отличным от единицы показателем преломления n , при наличии возможной пространственной анизотропии скорости света Δc должно зависеть от ориентации резонатора в пространстве. В результате должна возникнуть разность времен распространения встречных волн Δt , равная по оценкам авторов:

$$\Delta t = \frac{2(n-1)l\Delta c}{c^2} - \frac{l\Delta n}{c}, \quad (1)$$

которая в работающем кольцевом лазере должна приводить к возникновению сдвига частот встречных волн $\Delta\omega$ на величину:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = 2(n-1) \frac{l}{L} \frac{\Delta c}{c} - \frac{l\Delta n}{L}, \quad (2)$$

где c – это усредненная по двум встречным направлениям скорость света; Δc – возможное отличие “однонаправленной” скорости света от средней; n – усредненный по встречным направлениям показатель преломления конденсированной среды, находящейся в резонаторе; l – длина этой среды; Δn – возможная разность показателей преломления конденсированной среды для встречных волн; L – оптическая длина лазерного резонатора.

По мнению авторов, из формулы (2) на основании независимых измерений Δn и $\Delta\omega$ можно найти величину возможного отклонения односторонней скорости света Δc от средней.

Как известно, ранее, один из авторов (В.В. Рагульский) в работе [2] основываясь на собственных результатах измерения $\Delta\omega$ по аналогичной схеме, однако, без использования кольцевого лазера, и пользуясь данными измерений Δn из своей предыдущей работы [3], где было установлено, что преломляющее действие конденсированной среды на световые волны с точностью $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ не зависит от ее ориентации в пространстве, утверждал, что в лабораторных условиях фазовая скорость света не зависит от направления. А потому постулат Эйнштейна о пространственной независимости скорости света от направления можно считать доказанным в пределах данной точности эксперимента, хотя на самом деле точность измерения сдвига частот встречных волн $\Delta\omega$ в эксперименте [2] (в эксперименте измерялось смещение интерференционных полос) составляла всего лишь около $4.3 \cdot 10^{-4}$ (но не $\sim 5 \cdot 10^{-8}$) и оставляла желать лучшего.

В действительности же, однако, величина Δn , измеренная в эксперименте [3], т.е. определяемая как разность отношений синусов углов падающего и преломленного лучей в противоположных направлениях, и величина Δn в формулах (1) и (2), определяемая как разность отношений скоростей падающего и “преломленного” лучей (“преломленный” луч в данном случае распространяется в том же направлении, что и падающий, поэтому взят в кавычки) в противоположных направлениях, это две разные величины и имеют разный физический смысл. Поэтому равенство нулю сдвига частот $\Delta\omega$ в эксперименте [2] и равенство нулю Δn в эксперименте [3] не

означает, что равно нулю и Δc в формулах (1) и (2). Разность Δc может быть при этом любой, так как в действительности величина Δn применительно именно к этой ситуации, т.е. определяемая как разность отношений скоростей падающего и “преломленного” лучей в противоположных направлениях, неизвестна.

Закон преломления Снеллиуса

$$n = \sin \alpha / \sin \beta \tag{3}$$

применительно к ситуации [3], где α - угол падения, β - угол преломления, n – показатель преломления среды (поэтому он и называется показателем преломления) выполняется всегда, независимо от скорости света, что легко доказать.

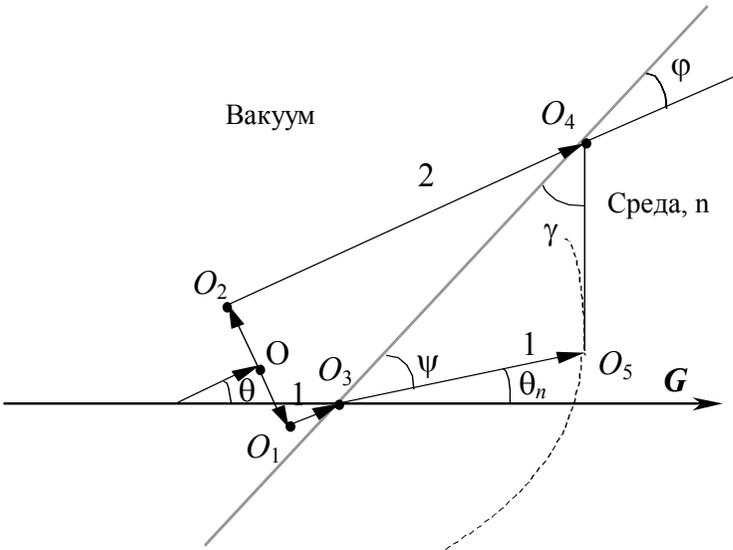


Рис. 1. К выводу закона преломления света в случае анизотропного пространства

Действительно, пусть скорость света в вакууме равна:

$$c(\theta) = \frac{c}{1 + \beta \cos \theta}, \tag{4}$$

где θ - это угол между осью анизотропии пространства и направлением распространения света, а β - это параметр (не путать с углом преломления β в формуле (3)), характеризует теперь степень анизотропии пространства. Скорость света в среде с показателем преломления n будет равна в этом случае (см., например, [4]):

$$c_n(\theta_n) = \frac{c}{n + \beta \cos \theta_n}, \quad (5)$$

где θ_n - это угол между осью анизотропии пространства и направлением распространения света в среде.

Пусть тонкий когерентный пучок света распространяется под углом θ к предполагаемой оси анизотропии (рис. 1). В точке O пучок расширяется (в перпендикулярном направлении) до ширины $O_1O_2 = 2h$ и падает на плоскую границу раздела O_3O_4 двух сред (вакуум-среда), ориентированную под углом φ к направлению распространения падающих фотонов, и преломляется. Под каким углом θ_n к оси анизотропии пространства (в данном случае под углом ψ к поверхности раздела сред) преломится пучок в среде?

Согласно гипотезе Гюйгенса-Френеля границу раздела вакуум-среда можно рассматривать как источник вторичных элементарных волн. Скорость вторичных волн в среде определяется формулой (5) (здесь: $\varphi + \theta - 180^\circ < \theta_n < \varphi + \theta$). Направление распространения огибающей (линии O_4O_5) вторичных волн (в нашем случае, это угол θ_n или, если рассматривать по отношению к поверхности раздела сред, угол ψ), даст нам направление распространения преломленного пучка в среде.

Лучи 1 и 2 в точке O расширяются согласно (4) со скоростью

$$c_{\perp 1,2} = \frac{c}{1 + \beta \cos(\theta - /+ 90^\circ)} = \frac{c}{1 \pm \beta \sin \theta}, \quad (6)$$

где индекс " $\perp 1$ " - соответствует лучу 1, распространяющемуся перпендикулярно вниз под углом $\theta_{\perp 1} = \theta - 90^\circ$ к оси анизотропии пространства, а индекс " $\perp 2$ " - соответствует лучу 2, распространяющемуся перпендикулярно вверх под углом $\theta_{\perp 2} = \theta + 90^\circ$.

Для времени распространения лучей 1 и 2 из точки O в точки O_3 и O_4 , соответственно, имеем

$$t_1 = \frac{OO_1}{c_{\perp 1}} + \frac{O_1O_3}{c(\theta)}, \quad t_2 = \frac{OO_2}{c_{\perp 2}} + \frac{O_1O_3}{c(\theta)} + \frac{O_3O_4 \cos \varphi}{c(\theta)}. \quad (7)$$

Разность времен распространения лучей, очевидно, равна

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{OO_2}{c_{\perp 2}} + \frac{O_3O_4 \cos \varphi}{c(\theta)} - \frac{OO_1}{c_{\perp 1}}. \quad (8)$$

Так как $OO_1 = OO_2 = h$, $O_3O_4 = 2h / \sin \varphi$, разность Δt переписывается:

$$\Delta t = \frac{2h \cos \varphi + \beta \cos(\theta + \varphi)}{c \sin \varphi}. \quad (9)$$

Радиус вторичной волны (O_3O_5) луча 1 в среде в момент времени t_2 , очевидно, равен

$$O_3O_5 = c_n(\theta_n)\Delta t = \frac{2h}{n + \beta \cos \theta_n} \frac{\cos \varphi + \beta \cos(\theta + \varphi)}{\sin \varphi}, \quad (10)$$

радиус вторичной волны луча 2 равен нулю. Нужно найти в образованном треугольнике $O_3O_4O_5$ угол ψ , соответствующий максимуму угла γ ?

Для углов ψ и γ в треугольнике $O_3O_4O_5$ справедлива теорема косинусов:

$$\begin{cases} (O_3O_5)^2 = (O_4O_5)^2 + (O_3O_4)^2 - 2(O_4O_5)(O_3O_4)\cos \gamma, \\ (O_4O_5)^2 = (O_3O_5)^2 + (O_3O_4)^2 - 2(O_3O_5)(O_3O_4)\cos \psi. \end{cases} \quad (11)$$

Решая систему (11) относительно γ и произведя замену $\psi = \theta + \varphi - \theta_n$, получаем функцию угла γ :

$$\gamma = \arccos \frac{1}{\sin \varphi} - \frac{\cos \varphi + \beta \cos(\theta + \varphi)}{\sin \varphi (n + \beta \cos \theta_n)} \cos(\theta + \varphi - \theta_n) \quad (12)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{\sin \varphi}\right)^2 - 2 \frac{\cos \varphi + \beta \cos(\theta + \varphi)}{\sin^2 \varphi (n + \beta \cos \theta_n)} \cos(\theta + \varphi - \theta_n) + \left(\frac{\cos \varphi + \beta \cos(\theta + \varphi)}{\sin \varphi (n + \beta \cos \theta_n)}\right)^2}$$

Численные расчеты показывают, что максимум угла γ достигается при угле θ_n , точно удовлетворяющий соотношению: $n \cos(\theta + \varphi - \theta_n) = \cos \varphi$, где $\theta + \varphi - \theta_n = \psi$, откуда следует закон преломления Снеллиуса (3).

А вот само отношение скоростей падающего и “преломленного” лучей может быть разным в разных направлениях. В нашем случае, как следует из формул (4) и (5), оно равно

$$c(\theta)/c_n(\theta_n) = \frac{n + \beta \cos \theta_n}{1 + \beta \cos \theta} \quad (13)$$

(здесь $\theta = \theta_n$), откуда для Δn применительно к ситуации [1, 2] получаем:

$$\Delta n = \frac{2\beta(1-n)}{1-\beta^2}, \quad (14)$$

а не $\Delta n = 0$. Поэтому равенство нулю сдвига частот $\Delta\omega$ в экспериментах [1] и [2], и равенство нулю Δn в эксперименте [3] вовсе не означает, что равно нулю и Δc .

Чтобы определить Δn применительно к ситуации [1, 2] надо ставить эксперименты в схожих условиях. Во-первых, чтобы падающий и “преломленный” лучи имели одинаковое направление, как и в экспериментах [1, 2]. Во-вторых, необходимо измерять именно отношение скоростей падающего и “преломленного” лучей, а не коэффициент преломления n , как в ситуации [3], который, как мы видели, всегда сохраняется, даже когда скорость света анизотропна. И когда авторы [1] совершенно необоснованным образом утверждают, что в работе [3] экспериментально установлено, что преломляющее действие конденсированной среды на световые волны с точностью $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ не зависит от ее ориентации в пространстве и, тем самым, в формулах (1) и (2) величина Δn также автоматически определена, то это является недопустимым переносом результатов опыта [3] на область, выходящую за пределы их применимости. Нельзя переносить результаты экспериментов [3] на несовместимые с ними эксперименты [1,2]. Это разные эксперименты. Результаты экспериментов [3] лишь показывают, что работает именно формула Снеллиуса (3) и не более.

Далее, раз идет речь о таком фундаментальном высокоточном эксперименте, как [1], то и расчет ожидаемой величины сдвига частот встречных волн должен быть выполнен подобающим образом на очень высоком уровне и не должен содержать никаких произвольных и необоснованных предположений, противоречащих известным экспериментальным фактам.

Теоретическая модель скорости света

$$c_{1,2} = c -/+ \Delta c, \tag{15}$$

использованная авторами [1-3] для расчета ожидаемого сдвига частот $\Delta\omega$, противоречит известным экспериментальным фактам.

Величина $\frac{1}{c + \Delta c} + \frac{1}{c - \Delta c} = \frac{2c}{c^2 - (\Delta c)^2} \neq \frac{2}{c}$, получающаяся в этом

случае, не согласовывается с экспериментами типа Майкельсона-Морли. Ни одна теоретическая модель не должна противоречить известным экспериментальным фактам. Точность экспериментов аналогичных Майкельсона-Морли, доведенная в настоящее время до $1.7 \cdot 10^{-15}$ (см., например, [5,6]), не подтверждает модель (15).

Чтобы модель скорости света находилась в соответствии с экспериментами типа Майкельсона-Морли, она должна быть равной, либо $c(\theta) \approx c$ (это самый примитивный вариант, какой постулируется в СТО), либо (4), неважно, чем бы ни была вызвана эта анизотропия, необязательно связанная с движением Земли. В последнем случае, как и в СТО, световой волне, распространяющейся, например, в прямом и обратном направлениях на отрезке длины l , расположенном под произвольным углом θ к предполагаемой оси анизотропии, потребуется время t :

$$t = \frac{l}{c}(1 + \beta \cos \theta) + \frac{l}{c}(1 + \beta \cos(\theta + 180^\circ)) = \frac{2l}{c}, \quad (17)$$

не зависящее от направления ориентации θ отрезка l в пространстве. Поэтому в этом смысле эксперименты [5, 6] обречены на неудачу.

Таким образом, вновь возвращаясь к нашей теме об ожидаемом сдвига частот $\Delta\omega$ встречных волн в эксперименте [1], световой волне на полный обход трасс сначала в одном направлении, когда световая волна распространяется в вакууме по трассе длины l под углом θ к предполагаемой оси анизотропии пространства, а затем в обратном направлении под углом $\theta + 180^\circ$ по трассе такой же длины l , но заполненной прозрачной конденсированной средой с отличным от единицы показателем преломления n , а затем вся эта процедура вновь повторяется в обратном порядке согласно (4) и (5) при наличии пространственной анизотропии скорости света потребуется время

$$t_1 = \frac{l}{c}(1 + \beta \cos \theta) + \frac{l}{c}(n + \beta \cos(\theta + 180^\circ)). \quad (18)$$

На такой же пробег по обратному маршруту потребуется время

$$t_2 = \frac{l}{c}(n + \beta \cos \theta) + \frac{l}{c}(1 + \beta \cos(\theta + 180^\circ)). \quad (19)$$

Таким образом, разность времен Δt обхода световых волн в противоположных направлениях применительно к ситуации [1], даже при наличии анизотропии скорости света равна:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 0, \quad (20)$$

а не (1), как утверждают авторы [1].

Таким образом, предлагаемый эксперимент [1], а также уже выполненный эксперимент [2] (а также эксперименты типа [5, 6]), в которых используется замкнутая траектория света, не может в действительности, ни опровергнуть, ни подтвердить

эйнштейновский постулат о независимости скорости света от направления, а равно и такую зависимость, и к анизотропии скорости света не чувствителен.

Скорость света при этом может быть, как изотропной, так и анизотропной, но все равно эксперимент отличить одно от другого не сможет. В свое время Майкельсоном, по-видимому, был уже введен запрет на такого рода научных проектов, в которых используется замкнутая траектория света. Конечно, я не против постановки эксперимента [1], даже при отрицательном исходе, любой эксперимент сам по себе уже ценен. Я против той трактовки результатов экспериментов, что навязывают авторы [1].

Литература

1. Кравцов Н.В., Рагульский В.В. *Квантовая электроника*, **30**, 1025 (2000).
2. Рагульский В.В. *Изв. АН. Серия физическая*, **63**, 818 (1999).
3. Рагульский В.В. *Письма в ЖЭТФ*, **65**, 497 (1997).
4. Обухов Ю.А., Захарченко И.И. *Физическая мысль России*, №3, 71 (2001).
5. Ерошенко Ю.Н. *УФН*, **172**, 220 (2002).
6. Ерошенко Ю.Н. *УФН*, **172**, 812 (2002).

Недосекин Ю.А.

Имитация “темной материи”

Аннотация

Некоторая часть (возможно и основная) “темной материи” обусловлена увеличением плотности энергии гравитационного поля звездных и галактических систем, имитирующим “скрытую массу”.

Астрономические наблюдения за движением галактик в скоплениях галактик и звезд в галактиках привели к выводу о существовании в них “скрытой массы” или, названной в дальнейшем, “темной материи”, необходимой для согласования теории тяготения с наблюдениями. По современным оценкам “темной материи” примерно в 10 раз больше видимого вещества. Природу “темной материи” пытаются объяснить при помощи разнообразных гипотез – это и обычная материя в виде погасших звезд и невидимых тел типа планет, это и скопления пыли и газа, это и существование новых, еще не обнаруженных, частиц материи, это и нейтрино с ненулевой массой, а также и введением гипотез, связанных с нарушением законов “земной” физики при их применении к галактическим системам. Ни одна из указанных гипотез в настоящее время не является общепризнанной в силу различных обстоятельств.

Какая-то часть “темной материи”, а может быть и основная, обусловлена ее имитацией по следующей физической причине.

Всевозможные виды излучений и частиц, покидающих галактику или скопление галактик, как известно теряют часть своей энергии для преодоления силы гравитационного притяжения, которая переходит в энергию гравитационного поля этих систем. За длительное время своего существования эти галактические системы “вобрали” в себя подобным образом достаточно большое количество энергии, превратившейся в их гравитационные поля.

Приведенное объяснение происхождения некоторой части “темной материи” является физическим фактом, а не гипотезой.

Для тела массы m и энергии E_{Γ} его гравитационного поля запишем следующее отношение

$$k = \frac{mc^2}{E_{\Gamma}} \gg 1, \quad (1)$$

где c – скорость света в вакууме. Можно считать, что это отношение, в силу суперпозиции гравитационных полей, является постоянным с высокой точностью для любых значений масс.

Применим выражение (1) к скоплению галактик, тогда масса скопления запишется в виде

$$m = \frac{kE_H}{c^2}, \quad (2)$$

где $E_T = E_B + E_H$, E_B – энергия гравитационного поля скопления, обусловленная видимым веществом, E_H – часть энергии гравитационного поля, соответствующая “невидимому веществу”.

Величина E_H обусловлена приведенным выше объяснением происхождения некоторой части “темной материи” и ее можно оценить. Тогда масса скопления галактик определится из выражения (2), но к сожалению коэффициент k остается неизвестным. Этот коэффициент можно было бы найти из выражения (1), если бы для тела произвольной массы m можно было бы вычислить энергию E_T его гравитационного поля. Но этого не в состоянии сделать ни одна из существующих теорий гравитации. Здесь под значением энергии E_T понимается энергия гравитационного поля данного тела, а не гравитационная потенциальная энергия его частей.

Исходящее из скопления галактик излучение в виде всевозможных частиц, фотонов и нейтрино, отдает часть своей энергии непосредственно гравитационному полю, против сил которого оно распространяется. Отданная гравитационному полю скопления галактик энергия соответствует массе $m = kE_T / c^2$ как бы существующему веществу “темной материи”, а это является лишь только имитацией его существования.

Все происходящие процессы выделения энергии в недрах звезд и ядрах галактик генерируют поток излучения, некоторая часть которого покидает скопление галактик, увеличивая тем самым плотность энергии его гравитационного поля. Просуммировав это излучение за все время существования рассматриваемого скопления галактик, можно оценить величину энергии E_H , полученной гравитационным полем скопления от покидающего систему галактик потока излучения. Увеличение энергии гравитационного поля скопления галактик подобным образом имитирует наличие “темной материи”.

Описанный процесс имитации существования “темной материи” можно применить и к отдельной галактике.

Недосекин Ю.А.

Неадекватное описание физической реальности квантовой теорией поля

Аннотация

Дан критический анализ некоторых понятий квантовой теории поля, использование которых не позволяет адекватно описывать физическую реальность. Проанализированы основные причины, приведшие к отходу от классического описания Природы. Высказаны новые идеи о модели поля сильного взаимодействия, о причине распада элементарных частиц, о понятии слабого взаимодействия, о свойстве излучения ускоренно движущегося электрического заряда, о рождении частиц в сильных взаимодействиях и об аннигиляции.

Содержание

1. Некоторые понятия квантовой теории поля
2. Отход от классического описания Природы
3. Физический вакуум и механизм взаимодействия полей
4. О моделях в физических теориях

1. Некоторые понятия квантовой теории поля.

В настоящее время в физике известны четыре типа взаимодействий – сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Каждому типу взаимодействий отвечает свое поле. В классической физике были известны только два из них – электромагнитное и гравитационное. Квантовая физика к ним добавила еще поля сильных и слабых взаимодействий, переносчиками которых являются виртуальные кванты этих полей, соответственно глюоны и промежуточные бозоны. Поскольку существующая на данный момент теория элементарных частиц предполагает наличие кварков, образующих структуру адронов, то сильные взаимодействия осуществляются так называемым глюонным полем, переносчиками которых являются глюоны. В квантовой теории радиус действия сил, любого из указанных выше взаимодействий, обратно пропорционален массе частиц, обмен которыми обуславливает данное взаимодействие.

В классической физике электромагнитное и гравитационное поля имеют макроскопические размеры и радиус действия их сил

теоретически равен бесконечности, так как переносчиками взаимодействий этих полей являются безмассовые частицы фотон и гипотетический гравитон соответственно. Такое представление о бесконечном радиусе действия указанных полей было привнесено в классическую физику квантовой теорией. Сама же классическая физика не использует обменный механизм взаимодействия в своих вычислениях. Эти поля представляют собой некоторую материальную структуру, т.е. являются материальными образованиями, хотя классическая физика и не использовала еще понятия их материальности в своих построениях.

Глюонное поле сильных взаимодействий не проявляет себя в макроскопических областях пространства и квантовая теория поля (КТП) о его структуре не может ничего сказать, кроме как того, что переносчиком его взаимодействия являются глюоны. Будем считать, что глюонное поле материально и имеет некоторую структуру.

Мы, однако, не придерживаемся такого взгляда на природу сильных взаимодействий и утверждаем:

Поле сильных взаимодействий является ядерное поле, локализованное в ограниченной области пространства и оно является таким же фундаментальным понятием, как и электромагнитное поле.

Далее этот тезис мы здесь развивать не будем, что увело бы от темы данной работы слишком далеко. Но в одной из последующих работ к этому положению вернемся и разовьем его достаточно подробно.

На фоне таких представлений о структуре физических полей слабое взаимодействие выглядит белой вороной. Разве существует поле слабых взаимодействий в указанном выше смысле? Под слабым взаимодействием в физике элементарных частиц понимают процессы их распада. Но разве процесс распада является физическим полем? Это не более, чем какой-либо другой физический процесс и квалифицировать его как физическое взаимодействие можно лишь в философском плане.

Введение понятия слабого взаимодействия в физике элементарных частиц оказалось неудачным, так как оно не отвечает существованию физического поля этого взаимодействия со своей материальной структурой. Процессы распада элементарных частиц, описываемые КТП при помощи обмена виртуальными промежуточными бозонами, происходят не по этой причине.

Причиной процессов распада элементарных частиц является неустойчивость материального образования, отождествляемого с элементарной частицей.

Свойства этих материальных образований современная физика пока еще не рассматривает и это невозможно сделать при помощи формализма КТП.

О современном состоянии КТП красноречиво говорят выдержки из диалогов теоретика и математика, описанных в книге [1]. И хотя эта книга вышла в 1997 году, высказанные в ней замечания останутся в силе и в настоящее время.

Теоретик – это доктор физико-математических наук И.Ю. Кобзарев, к сожалению, трагически погибший в 1991 году.

Математик – это Ю.И. Манин, член-корреспондент АН СССР (РАН) с 1990 г., является членом ряда зарубежных академий.

В дискуссии принимают также участие безымянные Философ и Экспериментатор, но последний фактически не вступал в дискуссию, кроме небольших реплик.

Математик. “... Электрон квантовой электродинамики – это вообще уже не «вещь», а квант поля, он может возникнуть, исчезнуть. В сущности, кроме формальных правил вычисления сечений и инструкций экспериментатору, как его «узнать», мы ничего о нем не знаем.” Стр. 14.

Философ. “Почему же в этом процессе гибели и рождения электроны всегда возникают одинаковыми?” Стр. 15.

Теоретик. “В каком-то смысле мы это не понимаем, а только описываем, но во всяком случае это вложено в самую основу КТП.” Стр. 15.

Математик. “Но ведь и вы говорите, что основная парадигма современной теории элементарных частиц – квантовая теория поля.” Стр. 19.

Теоретик. “Вы же знаете, что современная квантовая теория поля – отнюдь не стройный дворец; скорее это старый дом, обросший как попало сделанными постройками. Конечно, исходная центральная конструкция сохраняет силу, частицы получаются квантованием полей, но сколько пристроек!” Стр. 19.

Математик. “Цитата, которую вы привели, кажется, кончается словами «мы не можем ни о чем судить», а вы настаиваете на том, что вы знаете, что КЭД описывает факты и только факты!” Стр. 80.

Теоретик. “Что делать: мы не знаем, а все равно должны действовать, чтобы действовать успешно, мы должны

придерживаться тех предположений, которые кажутся самыми правдоподобными. Конечно, всегда возможны ошибки.” Стр. 80.

Философ. “Я очень хотел бы видеть книгу по квантовой теории поля, где все мысленные опыты, позволяющие понять, что это, собственно, за теория, были обсуждены. Кроме того, я хотел бы прочесть в ней, до какой точности доведены расчеты разных величин.” Стр. 80.

Математик. “Да, это была бы полезная книга.” Стр. 80.

Теоретик. “Стоит ли ее писать? Наука быстро меняется.” Стр.80.

Теоретик. “... Последнее десятилетие было поразительным успехом КТП, парадигма оказалась гораздо более эффективной, чем ожидалась. Но мне иногда кажется, что это, так сказать, пиррова победа, парадигма дошла до своих границ, может быть, даже их перешла.” Стр. 81.

2. Отход от классического описания Природы.

Отход от классического описания физических явлений и систем начался в 1926 году после введения Шредингером волновой функции ψ , якобы “объективно” описывающей состояние физической системы и наблюдаемые процессы. Последователи Шредингера отступили перед трудностями классического описания атомных явлений под сильным впечатлением успехов его теории в описании атомных спектров.

Остается и по настоящее время загадкой, почему уравнения Шредингера и Дирака правильно описывают энергетические уровни атома водорода и водородоподобных ионов с высокой точностью? Однако, явление лэмбовского сдвига уже теорией Дирака не объясняется, не объясняется также и естественная ширина спектральных линий. Эти эффекты объясняются в КТП введением представлений о поляризации и флуктуациях так называемого физического вакуума. Выяснением же причины “правильного” шредингеровского и дираковского результатов в описании спектров атома водорода видимо никто не занимался.

Дальнейшее развитие шредингеровского подхода привело к использованию в квантовой теории таких математических понятий, как операторов, групп, разного рода симметрий, пространств состояний и т.д., что еще сильнее увело физику в абстрактно математическую область, не адекватную физической реальности. Квантово-механические представления достигли своего апогея в КТП и завели физику в глубокий тупик, выход из которого

последователи этой теории пытаются решать прежними методами, внедряя новые математические абстракции и манипулируя прежними. Пришло время отказаться от квантово-механической парадигмы и вернуться на путь классического описания Природы, на чем, собственно, и настаивал А. Эйнштейн. Как известно, Э. Шредингер был также недоволен дальнейшим развитием его подхода к описанию атомных систем.

По поводу успеха теории Шредингера Макс Джеммер писал [2, стр. 275]: “За короткое время после опубликования статьи Шредингера появилось много работ, где волновая механика успешно применялась к самым различным задачам на собственные значения энергии. Вскоре стало ясно также, что теорией можно пользоваться и при решении более широкого круга задач, чем имел в виду ее создатель.”

Волновая механика Шредингера позволила в дальнейшем создать такие прикладные области физики, как квантовая химия и квантовая теория твердого тела, имеющие непосредственно практическое значение. Все это укрепило убежденность физиков в справедливости использования квантовых представлений при описании разного рода физических явлений и процессов. Согласие получаемых решений с опытом в этих областях обусловлено тем, что в уравнении Шредингера используется оператор функции Гамильтона H , выражающий энергетические свойства рассматриваемой физической системы. Но волновая механика Шредингера является феноменологической теорией и поэтому естественно имеет ограниченную область применения. Последователи же этой теории уверовали в ее непогрешимость и беспредельность ее использования, что и привело к созданию квантовой теории поля.

Шредингер пытался придать волновой функции ψ некий физический смысл, но на этом пути не достиг положительных результатов. Вот его размышления на этот счет [2, стр. 256]:

“Конечно, напрашивается мысль связать функцию ψ с неким колебательным процессом в атоме, реальность которого более правдоподобна, чем реальность электронных траекторий, в последнее время неоднократно подвергавшаяся сомнениям.”

“Едва ли нужно пояснять, насколько более привлекательным было бы представление о том, что при квантовом переходе энергия переходит из одной формы колебаний в другую, чем представление о перескакивающем электроны. Изменение формы колебаний может протекать непрерывно в пространстве и во времени; оно вполне

может длиться столько времени, сколько занимает ... процесс излучения.”

По поводу размышлений Шредингера о возможной физике квантовых переходов в атомах М. Джеммер пишет [2, стр. 275 – 276]: “Чтобы объяснить, почему механическая система излучает электромагнитные волны с частотой, равной разности термов, и иметь возможность рассчитать их интенсивность и поляризацию, Шредингер приписал ψ электромагнитный смысл, определив ψ в начальных разделах своей статьи как функцию, характеризующую непрерывное распределение заряда в реальном пространстве.”

“Для объяснения того эмпирического факта, что заряд электрона обычно сосредоточен в очень малой области пространства, Шредингер к электродинамической интерпретации волновой функции присовокупил представление о том, что частицы корпускулярной физики являются по существу лишь волновыми пакетами, образованными очень большим (строго говоря, бесконечно большим) числом волновых функций.”

Такое представление о корпускулярных частицах простиительно Шредингеру, поскольку в то время, когда он об этом писал, ничего не было известно о том большом многообразии мира элементарных частиц, о котором сегодня знаем мы.

Далее М. Джеммер продолжает:

“Но вскоре выяснилось, что предположение Шредингера ошибочно и что в общем случае волновые пакеты все же расплываются.”

“Еще одно возражение против интерпретации Шредингера было связано с тем, что для многоэлектронных систем (а строго говоря, также и для одноэлектронной системы, если принять во внимание движение ядра) функция ψ была определена в воображаемом многомерном пространстве и потому ее вряд ли можно было считать эффективной причиной излучения, как это предполагал Шредингер. Противоречили шредингеровской интерпретации и эксперименты по дифракции электронов на кристаллах, обсуждавшиеся выше, и эксперименты по столкновению частиц с атомами, так как было трудно понять, каким образом при подобных процессах дисперсии волн могла сохраниться стабильность частицы, если она была бы всего лишь группой волн.”

Причины излучения как атомов, так и свободных частиц (тормозное и синхротронное излучения), неизвестны и в настоящее время. Ускорение частицы не может считаться причиной излучения, поскольку существование атомов этому противоречит.

Да и для свободных частиц, движущихся с ускорением, излучение не всегда возможно.

Согласно классической физике ускоренно движущийся заряд излучает всегда. Существование атомов показало, что это не так – заряд может двигаться ускоренно и при этом не излучать. Это свойство атомов не было воспринято классической физикой для уточнения условий излучения ускоренно движущегося свободного заряда.

Мы полагаем, что излучение электрического заряда имеет одну и ту же природу, независимо от того, находится ли он в атоме или является свободным.

Выяснение причины излучения электрического заряда позволит описать спектры атома водорода и водородоподобных ионов классическим образом более точно, чем это осуществляется уравнениями Шредингера и Дирака.

Шредингеровская интерпретация волновой функции потерпела поражение. В 1926 году М. Борн выдвинул статистическую интерпретацию волновой функции, определяющую вероятность того или иного состояния физической системы. Тем самым был сделан еще один шаг отхода от физической реальности.

М. Борн писал [2, стр. 278]: “Движение частицы следует вероятностным законам, сама же вероятность распространяется в соответствии с принципом причинности.”

Для Эйнштейна и многих других физиков использование вероятности в физических исследованиях выражало неполноту (неточность) наших знаний о Природе, что в дальнейшем вылилось в квантовой механике в виде возможности существования так называемых скрытых параметров.

С этого момента Борн и Гейзенберг начали утверждать, что законы Природы определяют не появление события, а вероятность его появления.

Вероятностная интерпретация Борна быстро распространилась прежде всего в задачах атомного рассеяния, где она была и создана. Борн, а впоследствии и Фок, попытался связать вероятностную интерпретацию с классической физикой. Выступая в 1926 году в Оксфорде на съезде Британской ассоциации содействия развитию наук, он сказал [2, стр. 281]:

“Мы освобождаем силы от их классической роли непосредственно задавать движение частиц и вместо этого предоставляем им задавать вероятность состояний. Если раньше наша цель в том и состояла,

чтобы сделать эти два определения силы эквивалентными, сейчас эта проблема, строго говоря, больше не имеет смысла. Единственный вопрос состоит в том, почему классическое определение с таким успехом используется для широкого класса явлений. Как всегда в подобных случаях, ответ гласит: потому что классическая теория является предельным случаем новой.”

Довольно-таки самонадеянное утверждение. Вопрос можно поставить иначе: почему квантово-механическое описание в некоторых случаях качественно, именно качественно, (за исключением атомных спектров в атоме водорода и водородоподобных йонах) приводит к согласию с опытом? Ответ нами был уже дан ранее, который заключается в том, что в уравнении Шредингера используется оператор функции Гамильтона H , выражающий энергетические свойства физической системы, которые в силу закона сохранения энергии и импульса не противоречат опыту.

Точное описание физической реальности возможно только при использовании классического подхода на основе дифференциальных уравнений, о чем неоднократно заявлял и Эйнштейн. Не надо никаких операторов, групп, симметрий и т.д., все это математическая чепуха, не имеющая физического смысла.

Третьим шагом отхода от физической реальности стало известное соотношение неопределенности Гейзенберга, допускающее существование виртуальных частиц с нарушением закона сохранения энергии и импульса на малое время. Это уже чистый идеализм, к тому же еще и метафизический. И, как известно, именно это идеалистическое представление было положено в основу квантовой теории поля в виде механизма взаимодействия физических полей, выражающегося в обмене виртуальными частицами.

Шредингер был убежденным сторонником роли непрерывности в микрофизике и критиковал взгляды Бора на разрывность и понятие квантовых скачков. Бор сослался на статью Эйнштейна о вероятностях перехода, которая поддерживает его мнение о том, что без подобных разрывностей нельзя объяснить закон излучения Планка. На что Шредингер воскликнул [2, стр. 314]:

“Но если нельзя обойтись без этого проклятого квантового прыганья, то я сожалею, что вообще занялся квантовой теорией.”

На это Бор ответил:

“Но все остальные чрезвычайно благодарны Вам именно за это: Вы так много сделали для прояснения квантовой теории.”

Шредингер оказался заложником квантовых представлений и до конца жизни терзался этим. Гейзенберг считал, что конфликт Шредингера с Бором по вопросу интерпретации квантового формализма обусловлен отсутствием его адекватной интерпретации.

Гейзенберг поступил также, как в свое время поступил Эйнштейн [2, стр. 314]: “... природа устроена таким образом, что допускает использование именно этого математического формализма.”

Гейзенберг сказал себе [2, стр. 314]: “Похоже на то, что в природе я могу встретиться лишь с такими ситуациями, которые можно описать только квантовомеханически.”

Оба утверждения (Эйнштейна и Гейзенберга), как видим, являются самонадеянными и идеалистическими. Но, как говорится, Бог им судья. А мы знаем, что не только Бог может быть судьей, а в физике таким Богом является опыт.

Далее Гейзенберг продолжает вопрошать себя [2, стр. 315]: “... а каковы эти ситуации, которые можно определить?... Очень скоро я обнаружил, что такими ситуациями являются те, в которых существует это соотношение неопределенности между p и q . Тогда я попытался продолжить мысль: хорошо, пусть существует только такая возможность, что $\Delta p \cdot \Delta q \geq h / 2\pi$. Последовательно ли это утверждение? Могу ли я доказать, что эксперименты никогда не дадут мне ничего иного?”

Своими размышлениями Гейзенберг поделился с Паули, который восторженно о них отозвался. Ободренный такой реакцией Паули, Гейзенберг написал о своих размышлениях статью и направил ее Бору, которого она не совсем удовлетворила и он предложил сделать некоторые изменения. Гейзенберг настоял на первоначальном варианте статьи и в конце марта 1927 года отослал ее в физический журнал. Статья называлась: “ О наглядном содержании квантово-механической кинематики и механики”, в которой был выдвинут принцип неопределенности, упомянутый выше.

В дальнейшем этот принцип использовался в квантовой теории в спекулятивных целях, когда теория не позволяла описать те или иные события достаточно точно или же вообще не могла это сделать принципиально, подменяя отсутствие теоретического результата грубыми оценками, вытекающими из этого принципа.

Принцип неопределенности выражает невозможность точного описания состояния физической системы средствами квантовой теории. Этот недостаток квантовой теории приняли за великое благо, мол таковы законы Природы, что точно знать поведение физической системы, даже теоретически, невозможно. И согласно борновской интерпретации волновой функции, квантовая теория позволяет лишь только определить вероятность того или иного состояния физической системы. Много было сломано копий в многочисленных дискуссиях по осмысливанию интерпретации волновой функции и соотношения неопределенности. Так эти вопросы и поныне являются спорными. Следует, однако, заметить, что подобные обсуждения не привносят в физику реальных позитивных знаний. Проблема интерпретации квантовых представлений является внутренней проблемой этой теории, не представляющей для физического познания абсолютно никакого интереса. При адекватном описании физической реальности надобность в принципе неопределенности отпадает.

Пагубность принципа неопределенности проявляется в неправильном его понимании многими деятелями науки, которые в своих трудах и учебниках распространяют ошибочное о нем представление. Так, например, Матвеев А.Н. [3, стр. 120] пишет: “Для понимания явлений микромира мы не обладаем другими понятиями, кроме понятий, свойственных чисто корпускулярной и чисто волновой картине. Поэтому весь анализ явлений микромира мы вынуждены вести в рамках этих понятий, **которые неадекватно, односторонне и неполно отражают свойства объектов микромира** (выделено жирным нами). Если эти понятия абсолютизировать и не учитывать их односторонность и неполноту, то при анализе явлений микромира возникают многочисленные противоречия.”

Лучше и не скажешь о возможности квантовой теории описывать физическую реальность. Там же Матвеев А.Н. продолжает:

“В рамках квантовой механики нельзя говорить о движении электрона по траектории, но можно говорить о вероятности местонахождения электрона в той или иной области пространства. Это обстоятельство также связано с принципом неопределенности: если электрон зафиксирован в какой-то точке пространства в какой-то момент времени, то его импульс, а следовательно, и скорость становятся полностью неопределенными и понятие траектории теряет смысл.”

Это высказывание красноречиво говорит о неполноте квантово-механического описания Природы. Траектория электрона и других микрочастиц теряет смысл лишь только в представлениях квантовой теории. Однако, в многочисленных учебных и научных изданиях это не оговаривается, что вносит неправильное понимание объективной реальности. То, что невозможно сделать в квантовой теории, вовсе не означает отсутствие такой возможности при других подходах.

Принцип неопределенности утверждает лишь только одно – невозможность точного теоретического описания физических процессов средствами квантовой теории, именно теоретического.

Иные же авторы усматривают в этом принципе его физическую значимость, проявляющуюся непосредственно в физических явлениях. Так, например, причину квазидискретности энергетических уровней в атомах (естественная ширина спектральной линии) объясняют при помощи принципа неопределенности следующим образом [4, стр. 29]:

“В соответствии с принципом неопределенности возбужденные уровни i энергии квантовой системы, обладающие конечным временем жизни τ_i , являются квазидискретными и имеют конечную (малую) ширину.”

В КТП элементарные частицы предполагаются точечными. Это упрощает вычисления, но уводит от физической реальности. Идеализация материального объекта в виде точечной частицы играет положительную роль, например, в небесной механике, в которой планеты и Солнце принимают за материальные точки без ущерба для точности измерения наблюдаемых параметров планетных движений. Высокая степень шарообразности формы планет и Солнца и большие расстояния между ними позволяют рассматривать их как материальные точки. Погрешность такого рассмотрения лежит далеко за пределами современной точности измерений и потому не искажает физическую реальность движения планет на достаточно длинном отрезке времени.

Использование же понятия точечных частиц в области сильных взаимодействий приводит к неправильным теоретическим результатам, полученным на основе КТП, так как последняя не учитывает свойства сильных взаимодействий, при которых происходит сильное изменение энергии взаимодействующих частиц, которое в свою очередь изменяет силу такого взаимодействия. К тому же, кроме операторов рождения и

уничтожения, КТП не оперирует понятиями реального физического процесса, происходящего при образовании новых частиц в результате столкновения исходных частиц. Существование такого процесса вытекает из огромного экспериментального материала по неупругим и глубоконеупругим взаимодействиям. Отсюда и возникают трудности КТП, пытающейся построить теорию элементарных частиц, но это в ее рамках осуществить просто невозможно. Необходим возврат к классическому описанию полей на основе дифференциальных уравнений с использованием реальных физических моделей, а не математически абстрактных, каковыми являются, например, физический вакуум КТП и механизм взаимодействия квантовых полей.

Критический анализ квантовомеханического развития физики представлен в книге Дж. Препараты [5].

3. Физический вакуум и механизм взаимодействия полей.

Что же это такое физический вакуум? Вот как его описывает Матвеев А.Н. [3, стр. 402]:

“В лэмбовском сдвиге уровней атомных электронов проявляются физические свойства электромагнитного вакуума. Физические свойства вакуума обуславливаются виртуальным порождением и поглощением фотонов и всех других частиц. Поэтому говорят не только об электромагнитном вакууме, но и о вакууме других частиц. В частности, выше шла речь о состояниях с отрицательной энергией и позитронах. Фон электронов в состояниях с отрицательной энергией есть электронно-позитронный вакуум. Имеется также вакуум и других частиц.”

Физический вакуум оказался вместилищем всех известных и еще неизвестных частиц с отрицательной энергией. Ладно, если бы о таком вакууме говорили только как о математической модели КТП. Ан, нет! Приверженцы КТП твердят о его реальном физическом существовании. Такое понимание физического вакуума возникло после выдвижения в 1931 году Дираком идеи о “море электронов с отрицательной энергией” для объяснения полученных решений его уравнения, соответствующих отрицательным энергиям. Отрицательные энергии, по определению понятия энергии, не имеют физического смысла. И полученное решение с отрицательной энергией следовало бы выбросить в мусорную корзину. Но не таков был П. Дирак, он усмотрел в этом существование частицы, во всем похожей на электрон, но только

имеющей положительный электрический заряд. И в 1932 году Андерсоном была открыта такая частица, названная позитроном. С тех пор одинаковые по массе, но с противоположными зарядовыми свойствами (электрический заряд, лептонное и барионное числа и тому подобное), стали называть античастицами.

Открытие позитрона, античастицы электрона, явилось замечательным открытием, раскрывшим новый мир физической реальности. Но за открытие позитрона физика заплатила высокую цену, включив в свой арсенал основных понятий ошибочное представление о физическом вакууме. И это все благодаря представлению Дирака о его “море электронов с отрицательной энергией”. За открытием позитрона физики “увидели” физическую сущность “моря Дирака” и поверили в его существование.

И вот квинтэссенция КТП о физическом вакууме [3,стр. 402]: “Благодаря вакууму соответствующих частиц осуществляется взаимодействие частиц друг с другом. Например, электромагнитное взаимодействие по закону Кулона осуществляется с помощью электромагнитного вакуума. Электрические заряды обмениваются виртуальными фотонами, в результате чего возникает сила взаимодействия между зарядами. Обмен виртуальными фотонами сводится к испусканию фотона одним из зарядов и поглощению другим. Таким образом, этот обмен фотонами между зарядами изменяет нулевое состояние вакуума и в результате возникает электромагнитное взаимодействие между зарядами.”

Приведенное объяснение электромагнитного взаимодействия не выдерживает критики по многим аспектам. Возьмем хотя бы такие.

1. Между электрическими зарядами может быть как притяжение, так и отталкивание. Каким образом это осуществляется моделью приведенного выше механизма электромагнитного взаимодействия?

Возможно приверженцы КТП и знают об этом, но почему-то предпочитают не распространяться по этому поводу в своих сочинениях.

2. Взаимодействующие заряды расположены на некотором расстоянии друг от друга, которое может быть и достаточно большим в силу электромагнитного дальнего действия.

Каким образом заряд, испускающий виртуальные кванты, “знает” какого сорта фотоны он должен послать другому заряду, чтобы произошло либо притяжение, либо отталкивание между зарядами?

3. Если взаимодействуют два заряда, находящихся на некотором расстоянии друг от друга, то как каждый из этих зарядов “знает” в каком направлении ему нужно послать виртуальный фотон, чтобы его “проглотил” другой заряд соответственно? Или же заряды посылают свои фотоны по всем направлениям? А если в этом случае заряды удалены друг от друга на довольно большое расстояние, то тогда придется очень много посылают виртуальных фотонов по всем направлениям. Каким образом заряды “знают” какую интенсивность виртуальных фотонов им следует посылают друг другу в этом случае?

4. Если один заряд взаимодействует с системой зарядов, распределенных в пространстве в общем случае произвольно, то как этот заряд “знает” сколько фотонов ему надо послать и по каким направлениям, чтобы их “проглотили” все элементарные заряды соответствующего распределения системы зарядов?

Аналогичный механизм взаимодействия предлагается и для объяснения всех других физических полей, только переносчиком взаимодействия в них выступают другие виртуальные частицы.

Об условности концепции квантового механизма взаимодействия полей говорит Перкинс Д. [6, стр. 14]:

“Квантовая концепция испускания и поглощения виртуальных фотонов источником заряда – столь же условна, как и классическая концепция поля, окружающего источник. Как поле, так и виртуальный квант ненаблюдаемы; они ответственны за силу, которую можно измерить количественно. Однако распространение электромагнитного поля действительно квантуется в виде свободных фотонов – квантов, поэтому описание взаимодействия в виде обмена виртуальными фотонами в статическом случае удобно для обсуждения взаимодействия в микроскопическом масштабе.”

Редко где можно встретить высказывание об условности механизма взаимодействия физических полей посредством обмена их виртуальными квантами. Этот обменный механизм взаимодействия в КТП возведен в ранг объективно существующей физической реальности. Мы не можем согласиться с Д. Перкинсом, что поле ненаблюдаемо так же, как и виртуальный квант. В физике, как известно, наблюдения осуществляются приборами, результаты показаний которых дают основание считать, что измеряемая величина относится к объекту измерения, подтверждая тем самым объективное его существование в рамках принятой модели данного объекта. Поэтому ясно, что понятие наблюдаемости физического объекта связано с показаниями соответствующих приборов. В этом

смысле такие поля, как электрическое и гравитационное, являются наблюдаемыми при помощи большого количества разнообразных приборов. А вот виртуальные кванты таким же образом при помощи приборов наблюдать нельзя. Объяснение некоторых физических явлений на основе концепции виртуальных квантов не может служить доказательством их реального существования, поскольку те же самые явления объясняются или же могут быть объяснены совершенно с других позиций без помощи ненаблюдаемых виртуальных квантов. К тому же, на многие вопросы, приведенные выше, о механизме взаимодействия полей при помощи виртуальных квантов эта концепция не отвечает.

Электромагнитное поле при некоторых условиях приводит к излучению электромагнитных волн (квантов). Это свойство электромагнитного поля было положено в основу понятия квантового поля, как состоящего из квантов электромагнитного поля. В дальнейшем такое понятие поля было распространено и на другие типы полей, соответствующим сильному и слабому взаимодействиям. Получился “красивый” механизм взаимодействия физических полей, который, однако, не соответствует физической реальности.

Еще одна цитата о физическом вакууме [3, стр. 402]:

“Основной особенностью мира элементарных частиц является широкая взаимопревращаемость частиц друг в друга. В результате их взаимодействий друг с другом одни частицы исчезают, а другие порождаются. В процессе этих взаимопревращений вакуум играет первостепенную роль: он является как бы резервуаром, из которого черпаются порождаемые частицы и куда переходят исчезающие частицы. На примере состояний с отрицательной энергией электрона было пояснено, как это происходит в случае электронно-позитронного вакуума. Вакуум частиц проявляется и во многих других наблюдаемых эффектах. Таким образом, развитие квантовой теории поля привело к возникновению представлений о вакууме как о наделенной физическими свойствами среде.”

Процессы рождения и исчезновения частиц в КТП описываются при помощи свойств физического вакуума. Но это неправильное понимание таких процессов, происходящее из ложного представления о физическом вакууме. Объяснение же процессов рождения при взаимодействиях частиц высокой энергии и исчезновения частиц при аннигиляции заключается в следующем: **При столкновении частиц высокой энергии часть их кинетической энергии, которая материальна, преобразуется в**

наблюдаемые частицы, другая же ее часть превращается в кинетическую энергию продуктов реакции.

При аннигиляции частиц их энергия покоя (соотношение $E = mc^2$) преобразуется в материальную структуру квантов излучения (фотонов).

Причем же здесь вакуум? Эти процессы современная физика не описывает в указанном выше смысле, видимо, по причине укоренившегося представления о вакууме. Но когда-то надо все-таки начинать правильное описание этих процессов. Мы думаем, что время для этого уже пришло.

Примечательно высказывание Я.Б. Зельдовича [7, стр. 178]: “Наконец, последнее предупреждение молодым и немолодым читателям: не конструируйте машин, извлекающих из вакуума энергию. Это безграмотно уже сегодня, независимо от вопроса о вычислении энергии. ... Лучше придумайте, как использовать, да еще, по возможности, управляемым регулируемым способом, всю энергию $E = Mc^2$ вещества. Это трудно – но по крайней мере не противоречит общим законам природы.”

4. О моделях в физических теориях.

На наш взгляд существуют следующие типы физических моделей: реальные, феноменологические и ложные.

Реальные модели описывают форму и движение материи и взаимное расположение составных частей, входящих в модель, т.е. они создают некоторый образ реально существующей физической системы, который от оригинала может отличаться незначительными погрешностями. Некоторыми примерами таких моделей являются:

- хаотическое движение молекул газа;
- резерфордская модель атома;
- модель строения атомного ядра;
- боровская модель атома водорода;
- кристаллическое строение твердых тел;
- аморфное строение вещества;
- изменение агрегатных состояний вещества;
- представление о плазме.

К этому списку можно добавить и много других реальных моделей физических систем.

Феноменологические модели используют понятия, при помощи которых описывают поведение физических систем и их свойства. Они основаны на использовании усреднения свойств физической системы и приближенного описания физической реальности.

Однако в рамках введенных понятий могут быть точными в смысле измерения величин, входящих в феноменологию.

Например, термодинамика – феноменологическая теория, описывающая поведение реальных газов, паров и жидкостей при помощи таких понятий как температура, давление, энтропия и т.д.

Теории сверхпроводимости и квантовых жидкостей, квантовая теория твердого тела, квантовая теория поля, квантовая механика, статистическая физика (классическая и квантовая), теории строения атомного ядра являются феноменологическими теориями.

Ложные модели – это предполагаемые реальные модели, но они таковыми не являются. Такими ложными моделями в свое время были теплород, флогистон, электрическая и магнитная жидкости, которые описывали соответствующие физические явления, исходя из ложных представлений, появившихся от недостатка знаний об окружающем мире. По мере развития физики от этих представлений отказались ввиду их несоответствия реальной природе, описываемых ими явлений. Поэтому ложные модели могут длительное время существовать в физике, пока они не будут заменены на реальные модели. Существование ложных моделей неизбежно, так как они возникают от недостатка знаний. Поэтому, существующие в настоящее время, физические модели не должны абсолютизироваться. Многие из них могут впоследствии оказаться ложными.

Мы возьмем на себя смелость представить список некоторых ложных моделей:

физический вакуум в квантовой теории поля (КТП);

механизм взаимодействия физических полей в КТП;

кварковая модель строения адронов;

объяснение природы гравитации в ОТО искривлением пространства-времени;

второй постулат специальной теории относительности: скорость света одинакова по всем направлениям во всех инерциальных системах отсчета.

Очень жаль, что приведенные выше физические модели, положены в основу современных физических теорий. Что же, рано

или поздно, от этих моделей придется отказаться под влиянием опытных фактов. Мы полагаем, что уже до середины 21-го века от всех вышеупомянутых моделей физика откажется ввиду их ошибочности.

Литература

1. Кобзарев И.Ю., Манин Ю.И. Элементарные частицы: /Диалоги физика и математика/. Москва, “ФАЗИС”, 1997.
2. Макс Джеммер. Эволюция понятий квантовой механики. Москва, “НАУКА”, 1985.
3. Матвеев А.Н. Атомная физика. Москва, “Высшая школа”, 1989.
4. Физическая энциклопедия. Том 2. Москва, “Советская энциклопедия”, 1990.
5. Препарата Дж. Реалистическая квантовая физика. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.
6. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы: /Частицы, поля, заряды/. Москва, “НАУКА”, 1988.

Недосекин Ю.А.

Поле равномерно и прямолинейно движущегося электрического заряда

Аннотация

Показано, что для равномерно и прямолинейно движущегося электрического заряда запаздывающих потенциалов нет. Для произвольно движущегося электрического заряда выражения для запаздывающих потенциалов Льенара-Вихерта не верны, поскольку при их выводе не были учтены движения самих электрического и магнитного полей. Из полученных результатов вытекает ошибочность известных преобразований Лоренца, являющихся фундаментом специальной теории относительности.

Под электрическим полем будем понимать некоторую материальную среду, действующую на внесенные в нее электрические заряды. Пусть $u(x, y, z)$ есть объемная плотность энергии электрического поля. Тогда в соответствии с соотношением $W = mc^2$ масса этого поля будет равна $m = \frac{1}{c^2} \int u(x, y, z) dV$, которая определяет его инерционные свойства.

Для покоящегося точечного заряда q известно, что напряженность электрического поля равна

$$E = \frac{q}{r^2}, \quad (1)$$

а скалярный потенциал

$$\varphi = \frac{q}{r}, \quad (2)$$

где r – расстояние от заряда q до рассматриваемой точки поля, в которой определяются значения E и φ .

Законы изменения величин E и φ от расстояния r определяются объемной плотностью энергии $u(x, y, z)$ электрического поля. Под объемной плотностью энергии $u(x, y, z)$ электрического поля зарядов мы не понимаем известное в электродинамике выражение $\frac{1}{8\pi} E^2$, которое, как мы считаем,

выражает объемную плотность энергии взаимодействия электрических зарядов, образующих данное поле.

Электрическое поле неподвижного заряда устойчиво, оно не меняется со временем и для точечного заряда сферически симметрично. Если передвинуть заряд из одного положения 1 в другое – 2, рис. 1, в котором он также будет неподвижным, то в процессе такого перемещения его электрическое поле будет деформировано в силу конечности скорости передачи электрического возмущения. Но по прошествии некоторого времени электрическое поле заряда q в положении 2 примет прежний вид, описываемый формулами (1) и (2). Это произойдет под влиянием тех процессов перераспределения объемной плотности $w(x, y, z)$ энергии электрического поля, которые приведут ее к прежнему выражению для неподвижного заряда.

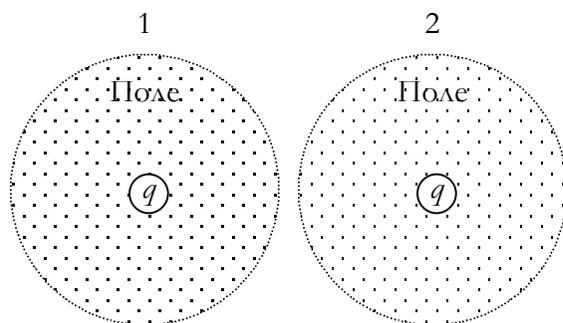


Рис. 1

Значение величины скорости возмущения электрического поля в настоящее время неизвестно, поскольку не было прямых соответствующих опытов по ее измерению. Принято считать, что эта скорость равна скорости света. Но это произвольное допущение, не подкрепленное опытом. Известно, что свет – это поток большого числа фотонов, летящих со скоростью света. Но скорость передачи возмущения собственно материальной среды электрического поля может быть отличной от скорости света, что необходимо проверить на опыте.

Если вывести заряд q из положения покоя и сообщить ему некоторую скорость v за время τ , то в процессе ускорения заряда его электрическое поле окажется деформированным. Но эта деформация поля начнет уменьшаться после прекращения ускорения заряда q и через некоторое время полностью исчезнет. Это исчезновение деформации поля после прекращения ускорения заряда обусловлено теми же причинами, что и для случая,

показанного на рис. 1. В деформированном электрическом поле заряда, движущегося с постоянной скоростью, после прекращения его ускорения возникнут процессы, приводящие объемную плотность энергии $u(x, y, z)$ к устойчивому состоянию. На элементарные объемы этого деформированного поля, видимо, действуют некоторые силы, приводящие структуру поля к своему прежнему состоянию. Электрическое поле ускоренно движущегося заряда оказалось деформированным, как уже указывалось, из-за конечной скорости передачи изменения объемной плотности $u(x, y, z)$ энергии этого поля. Естественно предположить, что в деформированном таким образом электрическом поле, возникли силы, действующие на все его элементарные объемы ΔV . После прекращения ускорения заряда эти силы восстанавливают прежнюю структуру поля в собственной системе отсчета K' , движущейся со скоростью заряда относительно неподвижной системы отсчета K . В результате чего электрическое поле заряда, движущегося с постоянной скоростью, в собственной системе отсчета K' будет таким же, как и при неподвижном заряде относительно системы отсчета K , т.е. сферически симметричным. В системе отсчета K , относительно которой заряд движется с постоянной скоростью, для величин E и φ в рассматриваемых точках A_1 и A_2 эффекты запаздывания будут отсутствовать, рис. 2.

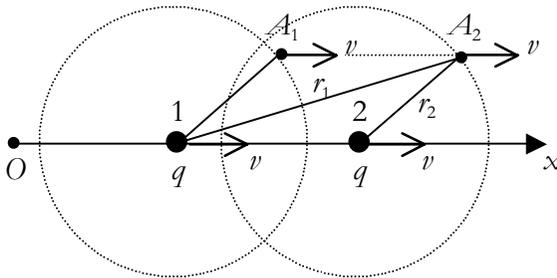


Рис. 2

После прекращения ускорения заряда и выравнивания объемной плотности $u(x, y, z)$ энергии в собственной системе отсчета K' электрическое поле становится сферически симметричным и каждый элемент его объема движется с той же самой скоростью, что и заряд q . Поскольку заряд q в точках 1 и 2 имеет одну и ту же скорость v и такую же скорость имеют все точки электрического поля, то расстояние $\Delta x = v(t_2 - t_1)$ будет равно

расстоянию A_1A_2 , которое пройдет точка A_1 за то же самое время $(t_2 - t_1)$. Следовательно характеристики электрического поля при положениях заряда q в точках 1 и 2 будут одинаковыми, т.е. $E_1 = E_2$, $\varphi_1 = \varphi_2$, что обусловлено одновременным движением заряда и всех точек его электрического поля с одинаковой скоростью.

Если обозначить расстояние от точки 1 до точки A_2 через r_1 , а расстояние от точки 2 до точки A_2 через r_2 , то значения для E и φ в точке A_2 запишутся в виде:

$$\text{заряд находится в точке 1 : } E_1 = \frac{q}{r_1^2} \quad , \quad \varphi_1 = \frac{q}{r_1} \quad ; \quad (3)$$

$$\text{заряд находится в точке 2 : } E_2 = \frac{q}{r_2^2} \quad , \quad \varphi_2 = \frac{q}{r_2} \quad . \quad (4)$$

Как видно из этих выражений, являющихся математической записью приведенных выше рассуждений, запаздывающие эффекты в них не содержатся. А это значит, что преобразования Лоренца, полученные им при вычислении скалярного потенциала φ движущегося с постоянной скоростью электрического заряда [1, стр. 165], являются не соответствующими физической реальности. Вследствие чего Специальная Теория Относительности (СТО), использующая эти преобразования, как свою фундаментальную основу, является ложной теорией. Причина, по которой в физику были внедрены ложные преобразования Лоренца, проста – неучет того обстоятельства, что заряд и все точки его поля движутся с одинаковыми скоростями в случае, когда движение заряда равномерно и прямолинейно.

Ввиду важности приведенного заключения, проясним этот вопрос еще раз, рис. 3.

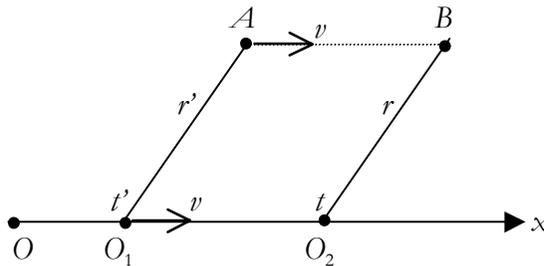


Рис. 3

Как уже было описано выше, все элементарные объемы электрического поля, движущегося с постоянной скоростью заряда, движутся с той же скоростью, что и сам заряд. Пусть в момент времени t' заряд находился в точке O_1 и его потенциал в точке A равен $\varphi_A = \frac{q}{r'}$, $r' = O_1A$. Через некоторое время Δt заряд переместился в точку O_2 . За это же время элементарный объем ΔV электрического поля в точке A переместился в точку B . Так как скорости движения заряда q и объема ΔV вокруг точки A одинаковы, то $O_1O_2 = AB$ и $O_1O_2 \parallel AB$. Отсюда следует, что контур O_1ABO_2 является параллелограммом, в котором $O_1A = O_2B = r$. Элемент объема ΔV вокруг точки A переместится за время Δt в неподвижную точку B , следовательно $\varphi_A = \varphi_B = \frac{q}{r}$ и никакого запаздывания здесь нет.

Для заряда, движущегося прямолинейно и равномерно, скалярный потенциал Льенара-Вихерта [1, стр. 164] в точке $A(x, y, z)$, рис. 4, имеет вид

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r' - (\vec{v} \cdot \vec{r}' / c)} . \tag{5}$$

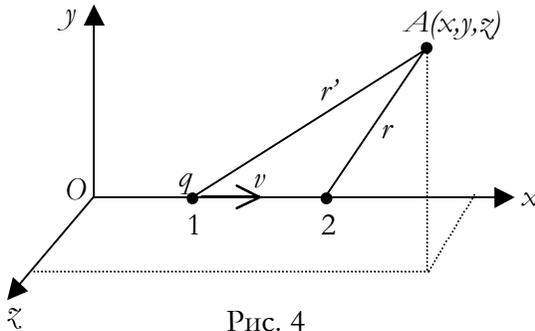


Рис. 4

В момент времени t' заряд q находился в точке 1, а в момент времени t – в точке 2. Расстояние от точки 1 до неподвижной точки $A(x, y, z)$ равно r' , а от точки 2 до A равно r . Моменты времени t' и t связаны соотношением

$$t' = t - \frac{r'}{c} . \tag{6}$$

В выражении (6) предполагается, что возмущение электрического поля распространяется по прямой $1A$. Учитывая скорость движения заряда, найдем расстояние

$$r' = \sqrt{(x - vt')^2 + y^2 + z^2} . \quad (7)$$

Разрешая уравнения (6) и (7) относительно t' и r' и подставляя их в (5), Фейнман [1, стр. 164] для движущегося с постоянной скоростью заряда получает выражение скалярного потенциала в точке A

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{1}{\left[\frac{(x - vt)^2}{1 - v^2/c^2} + y^2 + z^2 \right]^{1/2}} . \quad (8)$$

Для заряда, находящегося в начале координат собственной системы отсчета, скалярный потенциал имеет вид

$$\varphi(x, y, z) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{[x^2 + y^2 + z^2]^{1/2}} . \quad (9)$$

Из сравнения выражений (8) и (9) вытекают известные преобразования Лоренца. Выше мы уже указали, что эти преобразования Лоренца не соответствуют физической реальности, так как при выводе выражений (5), (8) и (9) не учитывалось движение самого поля. По этой причине и выражение для скалярного потенциала Льенара-Вихерта произвольно движущегося заряда является неверным. Чтобы получить правильное выражение скалярного потенциала для произвольно движущегося электрического заряда, необходимо учесть :

- 1) движение самого электрического поля, элементарные объемы которого будут двигаться с разными ускорениями, зависящими от запаздывания возмущения поля в данную его точку ;
- 2) распространение возмущения поля происходит не в неподвижной системе отсчета, относительно которой движется заряд, а в собственной неинерциальной системе отсчета, так как возмущение поля представляет собой изменение объемной плотности $u(x', y', z')$ энергии поля в собственной системе отсчета материальной среды, являющейся носителем электрического поля.

Литература

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Выпуск 6, Электродинамика. Фейнмановские лекции по физике. М.: Изд. "Мир", 1977.

Недосекин Ю.А.

Природа пространства и физических полей

Аннотация

Проанализированы понятия физического и математического пространств. Показано, что объяснение природы гравитации искривлением пространства-времени является ошибочным. Введено понятие об элементах поля, составляющих основу всего материального. Приведены схемы структур протона и электрона. Сделан вывод о локализации любого физического поля в ограниченном объеме пространства. Показан ошибочный характер квантового механизма взаимодействия полей. Представлен новый механизм взаимодействия физических полей на основе понятия элементов поля. Показано, что кинетическая энергия тела материальна и является абсолютной величиной в противоположность неправильному представлению о кинетической энергии в специальной теории относительности. Введено понятие расширения поля, имеющего важные следствия в физике звездных объектов. Представлено новое понимание природы гравитации, из которой следует отсутствие гравитационных волн.

Содержание

1. Природа пространства
2. Структура электрона и протона
3. Расширение физических полей
4. Механизм взаимодействия физических полей
5. Астрофизические следствия

Литература

1. Природа пространства.

О понятии пространства много было написано, начиная с античной древности и до наших дней. Мы не будем перечислять все рассуждения о пространстве, которые когда-либо возникали, а лишь кратко остановимся на некоторых из них. С введения Р. Декартом системы координат о пространстве стали говорить, как о математическом пространстве, к которому можно применять аналитические методы. Метод координат стали применять для определения положения материальных тел и расстояний между

ними. И. Ньютон ввел понятие абсолютного пространства безотносительно к чему-либо внешнему, в котором находились все материальные объекты – планеты, звезды и т.д. По своему определению абсолютное пространство Ньютона было пустым и являлось вместилищем всех материальных тел, т.е. оно было математическим пространством Декарта. Ни о какой физической сущности пространства Ньютон не размышлял. Декарт ввел понятие механического эфира, заполняющего все пространство, для объяснения световых явлений. Предполагалось, что свет представляет собой колебания некоторой упругой среды, названной эфиром. Эфир Декарта являлся наполнителем опять же математического пустого пространства, т.е. сам эфир никаким образом не связывался со структурой физического пространства. Во времена Декарта и Ньютона о структуре пространства и его физической сущности не говорили. Эти рассуждения стали появляться лишь в 20-х годах 19-го века, когда математики Н.И. Лобачевский, К. Гаусс, и Я. Больяи создали свои неевклидовы геометрии. Лобачевский первым поставил вопрос о геометрии реального трехмерного пространства. До этого момента геометрия была чисто математической теорией, которая, конечно, использовалась для практических нужд как средство каких-либо вычислений, но она не вмешивалась в вопросы строения Мира. Но если был поставлен вопрос о геометрии реального физического пространства, то это имело смысл лишь только в том случае, если считать, что пространство является некоторой материальной оболочкой. Гаусс развил теорию поверхности, исходя из которой можно было сделать заключение о ее локальной кривизне, находясь на самой поверхности. Это в математических теориях можно говорить о кривизне многомерных пространств, являющихся, как и все образы математики, нематериальными. Бесмысленно также говорить об искривлении пространства, заполненного материей, ибо такое пространство по-прежнему, как и абсолютное пространство Ньютона, является лишь только вместилищем материи и не имеет собственной материальной структуры.

Несколько позже Б. Риман построил свою неевклидову геометрию, ставшей впоследствии математическим фундаментом общей теории относительности. В работе [1] им исследовалось понятие о многократно протяженной величине, положившее начало представлению о многомерном пространстве. В этой работе Риман задавался вопросом о геометрических свойствах пространства в бесконечно большом и бесконечно малом, связывая

их с реальным физическим пространством. По существу он пытался проанализировать геометрические свойства реального пространства, являющиеся предметом исследования физики. Сама же геометрия, как математическая теория, может использовать непрерывность математического пространства до сколь-угодно малых и сколь-угодно больших пространственных областей, геометрические свойства которых полностью определены заданной системой аксиом. Вопросы же геометрии реального Мира находятся в компетенции физической науки.

В 1854 году Риман обобщил метод Гаусса на пространство произвольного числа измерений введением метрики, определяемой компонентами метрического тензора, являющимися функциями координат любой точки рассматриваемого пространства. Он также ввел понятие кривизны пространства, которая может меняться от точки к точке. Кривизна пространства однозначно определяется через компоненты метрического тензора.

После появления специальной теории относительности (СТО), написанной А. Эйнштейном в 1905 году, Г. Минковский в 1908 году ввел для описания событий СТО четырехмерное псевдоевклидово пространство, в котором координаты события определялись тремя пространственными координатами (x, y, z) и временной координатой ct , где c – скорость света в вакууме. Вопрос о геометрии реального физического пространства в СТО не рассматривается, поскольку изначально предполагается, что оно евклидово.

В общей теории относительности (ОТО), созданной Эйнштейном и окончательно им сформулированной в 1915 году, развита концепция о геометрической природе гравитации, определяемой якобы геометрией реального физического пространства-времени. Геометрия же самого пространства-времени определяется распределенной в нем материей. В ОТО, как само собой разумеющееся, считается, что гравитационные свойства материи и ее движение определяются геометрией реального пространства-времени, совпадающей с геометрией, определяемой в ОТО. Однако, это всего лишь гипотеза и далеко не самая удачная. Пространство-время в ОТО является ее внутренним построением и имеет чисто математический характер. Можно говорить о кривизне пространства-времени ОТО в связи с распределением в нем материи, но это все будет относиться лишь только к математическому пространству-времени ОТО, а не к реальному физическому пространству. Считать априори, что геометрия

пространства-времени ОТО является геометрией реального физического пространства-времени, нет никаких оснований. Согласие же, выводимых из ОТО, следствий с опытом не является основанием считать, что геометрия реального физического пространства-времени совпадает с геометрией пространства-времени ОТО. В данном случае использование модели пространства-времени ОТО является не более чем лишь только математическим способом описания гравитационных взаимодействий. Поэтому вопрос о геометрии реального физического пространства остается открытым.

Геометрия реального физического пространства не является геометрией пространства ОТО.

После создания ОТО многие авторы стали рассматривать эту теорию как основу для построения всевозможных космологических моделей реальной Вселенной. Кривизна пространства в этих моделях связывалась со средней плотностью материи Вселенной, что само по себе является некорректным предположением. Влияние материи на кривизну пространства, ежели таковое и существует, должно иметь лишь только локальный характер.

Поэтому космологические модели, использующие понятие средней плотности материи, не являются адекватными существующей реальности. Это во-первых.

Во-вторых, в ОТО не определяется плотность энергии гравитационного поля, поэтому в рамках ОТО нельзя говорить о локальной кривизне пространства, определяемой плотностью энергии в данной точке. А именно, только локальность кривизны пространства и имеет физический смысл. Кривизна пространства должна плавно переходить от точки к точке. Совокупность локальных искривлений образует геометрию всего пространства.

Говоря о пространстве и его кривизне, следует уточнить определение самого пространства, иначе оно будет выступать в той же роли, что и абсолютное пространство Ньютона. Под пространством обычно понимают математическое пространство, выражающее расстояния между отдельными материальными объектами при помощи той или иной системы координат. Это математическое пространство позволяет измерять протяженность материальных объектов и описывать метрические свойства материи. Поэтому, говоря об искривлении пространства, следует иметь в виду, что речь идет об искривлении материальной среды, метрические свойства которой определяются математическим пространством через посредство введенной системы координат.

Материя обладает протяженностью и она является физическим содержанием математического пространства.

Физического пространства, как такового, не существует. Существует лишь только материя, геометрические свойства которой могут быть описаны тем или иным математическим пространством. Именно в этом смысле и надо понимать искривление пространства, как искривление самой материи.

В дальнейшем, выражение “искривление пространства” будем понимать в указанном выше смысле.

Но возможно ли искривление материи и от чего оно зависит? В математике искривление математического пространства можно рассматривать в произвольной форме, задавая ту или иную метрику. Возможное же искривление материальной среды определяется свойствами самой материи.

Вопросы о размерности физического пространства занимали умы многих исследователей, пытавшихся понять причину его трехмерности. Предлагались всевозможные объяснения существования трехмерности пространства, но ни одно из них не являлось научным доказательством.

Вопрос о геометрии реального физического пространства, впервые поставленный Лобачевским, относился к макроскопическим областям пространства всей видимой части Вселенной. Геометрические свойства пространства в малых его областях также были предметом исследований. Априорные рассуждения об этом мы встречаем у Римана в его работе [1].

Реальное физическое пространство предполагалось непрерывным до сколь-угодно малых размеров – континуум. Такое понимание непрерывности пространства не мешало развитию физики вплоть до начала исследований в области физики высоких энергий. Опыты по исследованию взаимодействия сталкивающихся частиц высокой энергии и их теоретическое осмысливание возродили вопросы о непрерывности пространства на малых расстояниях. Начиная с 30-х годов 20-го века, было предложено много работ по дискретности пространства, выражающейся в виде понятия наименьшей фундаментальной длины пространственной области, так называемой “зернистости” пространства. Некоторые ссылки на эти работы можно найти в книге [2].

В связи с развитием теории элементарных частиц и поиском “кирпичиков” материи можно поставить вопрос не только о минимальной длине пространственной области, в которой нет материи в виде некоторой части структуры элементарной частицы,

но также и вопрос о другой более фундаментальной длине, определяющей размеры “кирпичика” материи. Логически ясно, что дробление материи на все более мелкие части не может продолжаться до бесконечности, где-то должен быть предел, выражающийся в существовании некоторого элементарного элемента материи, из которого все и построено. В настоящее время за наименьшие материальные объекты принимают кварки, считающимися бесструктурными частицами.

Кварки – это чисто гипотетические частицы, введенные в физику М. Гелл-Маном и, независимо от него, Г. Цвейгом в 1964 году для построения классификации, существовавших в то время, сильновзаимодействующих элементарных частиц. В дальнейшем теория кварков легла в основу квантовой хромодинамики (КХД), считающейся в настоящее время одной из самых продвинутых теорий в физике элементарных частиц. Огромный экспериментальный материал в физике высоких энергий способствовал введению новых кварковых свойств, призванных согласовать кварковую теорию с наблюдениями. Искусственность таких нововведений очевидна, в связи с чем КХД можно назвать квантовой мифологией.

Мы считаем, что материальный элемент наименьших размеров существует и он является строительным материалом всего многообразия материальных объектов Вселенной. Под материальными объектами мы понимаем как сами элементарные частицы, образующие макротела, так и всевозможные виды излучений (кванты) и физических полей. В связи с этим введем следующую гипотезу.

Материальным элементом наименьших размеров является четырехмерный бесструктурный материальный элемент, обладающий свойством перемещения по трем пространственным измерениям, являющийся строительным материалом любых форм материи и обеспечивающий взаимодействие физических полей друг с другом.

Под понятием “бесструктурный материальный элемент” будем понимать то обстоятельство, что никакими физическими опытами не удастся вскрыть его внутреннюю структуру, поскольку более мелких материальных элементов, самостоятельно существующих в свободном виде независимо от других таких же элементов, в Природе не имеется. Вопрос о внутренней структуре такого элемента материи становится таким же бессмысленным, как и вопрос о причине существования Вселенной, на который

невозможно дать ответ. Это первооснова, которая должна быть принята, как изначально заданное. Мы можем лишь только вводить различные гипотезы о свойствах этого материального элемента материи, приводящие к согласию с опытом.

Поскольку наименьший элемент материи, исходя из его определения, может перемещаться только по трем пространственным измерениям, то он способен формировать только трехмерные материальные образования в виде элементарных частиц, представляющих собой не что иное, как некоторый набор физических полей. Объединения элементарных частиц, как мы знаем, приводят к образованию атомных ядер и самих атомов, совокупность же последних образует множество молекул и макротела.

В дальнейшем, наименьший элемент материи будем называть элементом поля. Эти элементы поля распределены по всему трехмерному пространству Вселенной и они являются его неотъемлемой частью. Совокупность бесконечно большого числа таких элементов и образует всю материю Вселенной. Как видим, для понятия физического вакуума квантовой теории поля в нашей картине места не нашлось. Дополнительно, к выше приведенному определению элемента поля, добавим следующие его свойства:

элементы поля взаимодействуют между собой контактным способом;

они могут сливаться друг с другом в таком их количестве, которое позволяют иметь свойства их взаимодействия;

элементы поля, слившиеся друг с другом в некотором их количестве, образуют ячейку поля;

элементы поля при соответствующих условиях могут совершать повороты относительно 4-го измерения.

Элементы поля образуют материальную оболочку трехмерного пространства. Поскольку они могут перемещаться только по трем пространственным измерениям, то и все материальные объекты, составленные из них, также могут перемещаться только по трем измерениям в трехмерной материальной оболочке реального физического пространства. Материальные объекты не могут покинуть материальную оболочку

трехмерного физического пространства ни при каких условиях, так как возможности их физического перемещения в пространстве ограничены тремя измерениями по указанной выше причине.

Так как элемент поля по определению является четырехмерным образованием, то материальная оболочка физического пространства представляет собой трехмерную поверхность с тонкой толщиной в 4-м измерении. Возможность искривления этой поверхности относительно 4-го измерения должна определяться свойствами введенных элементов поля и их геометрической формой. Существование искривления реального физического пространства должно быть определено соответствующими опытами на основе геометрических свойств общей теории неевклидова трехмерного математического пространства. Таким образом:

Пространство нашей Вселенной является материальной трехмерной поверхностью с тонкой толщиной в 4-м измерении.

Мы не можем физически выйти за пределы нашего трехмерного пространства в другое измерение ни при помощи каких бы то ни было технических средств, ни при помощи всевозможных квантов излучения. Все, что есть в нашем Мире, может перемещаться только по трехмерной оболочке нашего физического пространства. В этом смысле говорить о существовании других Вселенных, пространственно разделенных с нашей Вселенной, не имеет физического смысла из-за невозможности их обнаружения никакими средствами.

2. Структура электрона и протона.

После открытия электрона в конце 19-го века предлагались различные модели его строения на основе теории электромагнитного поля. Строение электрона связывали со способом распределения его электрического заряда либо по поверхности сферы, либо по некоторому объему. Такое представление являлось необоснованным, поскольку понятие электрического заряда было введено при рассмотрении электрического взаимодействия между макроскопическими заряженными телами, заряды которых по величине кратны элементарному электрическому заряду. Измерениями было установлено, что электрон обладает наименьшим по величине электрическим зарядом, поэтому нельзя считать, что сам электрон состоит из множества более мелких электрических зарядов. Все эти

модели по разным причинам были отвергнуты классической физикой. В квантовой электродинамике (КЭД) электрон считается точечной частицей. Трудности в вычислении собственной энергии электрона, возникшие в классической теории поля, остались и в КЭД, в которой для точечного заряда получают бесконечную собственную энергию. В настоящее время нет удовлетворительной теории, которая бы не приводила к бесконечной собственной энергии точечного электрона. Нет также и удовлетворительной теории неточечного электрона. КЭД рассматривает точечные частицы, что и привело к указанным выше трудностям при вычислении собственной энергии электрона. Предположение о точечности частиц упрощает описание их взаимодействия как между частицами, так и между частицей и полем. В каких-то задачах это и оправдано. Но зачем же пытаться вычислять собственную энергию электрона, считая его точечным? Электрон – физический объект, имеющий некоторую структуру и не являющийся в реальности точечным. Вообще-то точечным считается заряд электрона и на этом предположении вычисляют его собственную энергию, считая ее электромагнитной. Но эта энергия распределена в пространстве вокруг заряда, что соответствует модели протяженного электрона. Поскольку КЭД оперирует только точечными частицами, то она принципиально не в состоянии вычислить собственную энергию электрона, так как для описания структуры протяженного объекта требуется использовать формализм, которым КЭД не располагает.

Другой элементарной частицей, имеющей наименьший по величине электрический заряд, является протон, который помимо электромагнитного взаимодействия обладает и сильным взаимодействием, проявляющимся в виде ядерных сил. Ядерные силы притяжения, действующие между протонами и нейтронами в атомном ядре, более чем в 100 раз превосходят электромагнитные силы на тех же расстояниях между частицами и являются короткодействующими, проявление которых ограничено пределами размеров атомного ядра.

Короткодействующий характер ядерных сил нашел свое объяснение в гипотезе Х. Юкавы, выдвинутой им в 1935 году. Сущность этой гипотезы заключалась в обмене частицами с массой порядка 200 – 300 электронных масс при взаимодействии нуклонов. Такие частицы – π -мезоны – были открыты в 1947 году в космических лучах.

Для объяснения свойств упругого и неупругого рассеяния электронов высокой энергии на протонах Р. Фейнманом в 1969 году была предложена модель структуры протона, состоящей из точечных частиц, названных партонами. Свойства партонов в сильных взаимодействиях проявляются лишь при больших переданных импульсах рассеиваемым электронам. Можно ли в таком случае говорить, что в структуре протона содержатся точечные образования в виде партонов? При низких энергиях электронов таких эффектов не наблюдается. Мы считаем, что никаких партонов не существует. Наблюдаемые же эффекты рассеяния высокоэнергичных электронов на протонах обусловлены превращением части кинетической энергии электрона в некоторое материальное образование, которое может превратиться либо в некоторое количество элементарных частиц, включая и образование резонансов, либо поглотиться взаимодействующими частицами. Такие соображения о характере взаимодействия частиц высокой энергии мы уже приводили в работах [3] и [4].

В дальнейшем партоны отождествили с кварками и глюонами. По современным представлениям сильновзаимодействующие частицы – адроны – состоят из кварков и антикварков, взаимодействие между которыми осуществляется виртуальными глюонами. В частности, согласно кварковой модели протон состоит из трех кварков. В пункте 1 этой работы мы уже указывали на гипотетичность кварковой модели строения элементарных частиц ввиду большого числа искусственных предположений о кварковых свойствах.

Экспериментальными исследованиями по нуклон-нуклонному рассеянию при высоких энергиях было установлено наличие сильного отталкивания между нуклонами на очень малых расстояниях, порядка $0,45 \cdot 10^{-13}$ см, (сердцевина Ястрова [5, стр. 492]), [6, стр. 76]. Существование сильного отталкивания между нуклонами на малых расстояниях не было расценено ядерной физикой и физикой элементарных частиц как проявление нового вида физического взаимодействия. Отталкивание между нуклонами на расстояниях $\sim 0,45 \cdot 10^{-13}$ см в ядерной физике характеризуется как проявление свойства прежнего сильного взаимодействия, которое ответственно и за ядерные силы притяжения между нуклонами. В квантовой хромодинамике это явление объясняют взаимодействием между кварками при помощи феноменологической теории, весьма далекой от совершенства.

Радиус r действия ядерных сил протона ограничен сверху величиной $\sim 10^{-13}$ см, а снизу – $\sim 0,2 \cdot 10^{-13}$ см (половина расстояния между двумя нуклонами, когда начинают действовать силы отталкивания между ними). На расстояниях $r > 10^{-13}$ см расположена область электрического взаимодействия протона с электрическими зарядами.

Этим трем видам взаимодействия соответствуют различные поля:

- электрическому взаимодействию – электрическое поле;**
- ядерному взаимодействию притяжения – ядерное поле;**
- отталкиванию нуклонов – барионное поле.**

Поле, ответственное за отталкивание нуклонов, мы назвали барионным, так как уже существует термин “барионное число”. Для барионов существует закон сохранения барионного числа, запрещающий распад протона на мезоны и лептоны. Это свойство барионов обусловлено существованием барионного поля, введенного выше.

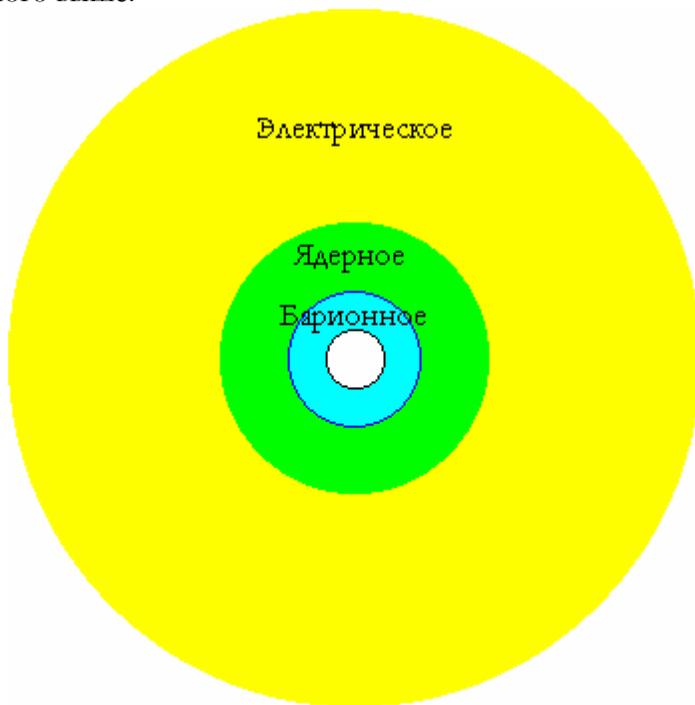


Рис. 1. Схема структуры протона

Указанные три поля, являющиеся составной частью протона, обуславливают его структуру. Эти поля пространственно

независимы и они расположены внутри друг друга. Исходя из этого, мы предлагаем следующую структуру протона, рис. 1:

протон состоит из трех пространственно обособленных физических полей: барионное, ядерное, электрическое.

Будем предполагать, что эти три поля являются сферически симметричными для свободного протона. Пространство между концентрическими сферами назовем шаровым слоем. Тогда каждое из трех вышеуказанных полей протона представляет собой шаровой слой, заполненный материей в виде элементов поля, введенных нами в пункте 1 данной работы. Свойства этих элементов поля таковы, что они приводят к устойчивым материальным образованиям – электрону и протону и их античастицам. Все остальные элементарные частицы вместе со своими античастицами также образованы этими элементами поля, но они, кроме фотонов и нейтрино, являются неустойчивыми образованиями, распадающимися за малое время.

Элементы поля, из которых состоят физические поля, обладают свойством, при котором в процессе рождения элементарной частицы разным по размерам пространственным областям соответствуют разные физические поля, различающиеся плотностью энергии и знаком поля. В электрических полях знак поля проявляет себя в виде направления силы, действующей на пробный заряд. Ядерные силы являются зарядово независимыми относительно частиц, электрические заряды которых противоположны по знаку. Несмотря на это, мы все же будем приписывать ядерному полю тот знак, который имеет электрический заряд данной частицы. Этот знак ядерного поля характеризует его структуру и будет использоваться нами в дальнейшем. Ядерные поля частицы и античастицы имеют противоположные знаки, указывающие на внутреннее различие их структур, которое позволяет частице и античастице аннигилировать при их слиянии.

Пространственные сферически симметричные области полей протона, согласно схеме (рис. 1), запишем следующим образом:

$$\text{Барионное поле: } r_b \leq r < r_y ;$$

$$\text{Ядерное поле: } r_y \leq r < r_0 ;$$

$$\text{Электрическое поле: } r_0 \leq r \leq R_0 ,$$

где r_B, r_Y, r_0 – нижние границы размеров шаровых слоев, в которых расположены соответствующие поля; $r_B < r_Y < r_0$. Электрическое поле протона ограничено сверху радиусом R_0 .

Все физические поля протона мы считаем материальными, т.е. каждое из них представляет собой материальную структуру, образованную элементами поля. Вся масса протона является суммой масс трех его физических полей.

Для электрона существует только электромагнитное взаимодействие, поэтому его структура определяется одним электрическим полем, расположенным в шаровом слое $r_0 \leq r \leq R_0$, рис. 2.

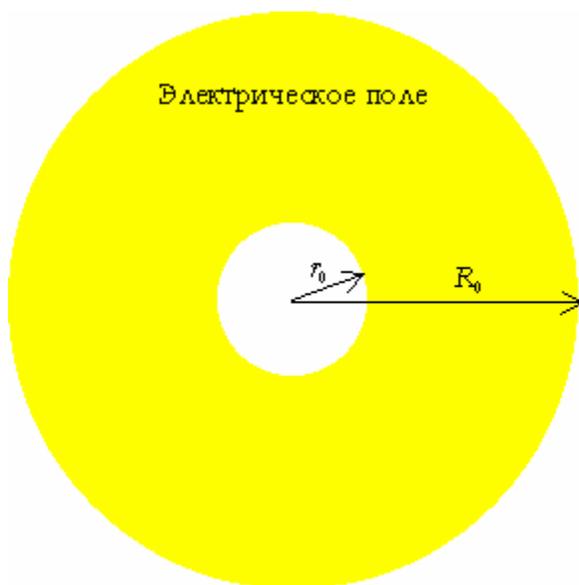


Рис. 2. Схема структуры электрона

Поскольку элементарные электрические заряды у электрона и протона равны по величине, то мы на этом основании заключаем, что размеры областей расположения электрических полей у протона и электрона одинаковы.

Электрические поля электрона и протона имеют одинаковые размеры и различаются знаком электрического заряда.

Вся масса электрона и его электрическое поле расположены в области $r_0 \leq r \leq R_0$.

Забегая немного вперед, заметим, что суперпозиция электрических зарядов приводит к образованию макроскопических

электрических полей за счет расширения поля, свойственного всем физическим полям.

В описанные структуры протона и электрона не вошло гравитационное поле, происхождение которого мы объясняем следующей гипотезой:

Гравитационное взаимодействие является свойством нейтрального электрического поля, образуемого электрическими полями противоположных знаков.

Атом электрически нейтрален. Совокупность электрических полей ядра атома и его электронов представляет собой нейтральное электрическое поле, которое проявляет свойства гравитационного взаимодействия, действующего на любой вид материи. Полагаем также, что нейтрон, входящий в состав атомных ядер, имеет нейтральное электрическое поле.

Условно будем считать, что гравитационным полем атома является его нейтральное электрическое поле. Макроскопическое гравитационное поле является суперпозицией гравитационных полей атомов, образующих макротело.

Если предположить, что в структурах электрона и протона после области электрического поля расположено гравитационное поле, которое в этом случае являлось бы самостоятельным полем, как и другие поля этих частиц, то такое представление противоречит принципу эквивалентности (ПЭ) (равенство инертной и тяжелой масс), проверенному с точностью $\frac{\Delta m}{m} \sim 10^{-12}$,

$\Delta m = |m_T - m_I|$, m_T – тяжелая масса, m_I – инертная масса пробного тела. Нарушение ПЭ при принятии такого допущения составило бы величину $\frac{\Delta m}{m} \sim 10^{-3}$. Кроме того, гравитационное взаимодействие фотонов произвольной энергии удовлетворяет ПЭ.

Все это и приводит к вышеупомянутой гипотезе о природе гравитационного взаимодействия, как проявление свойства нейтрального электрического поля, которое для макроскопических тел занимает макроскопические пространственные области. Ни одно другое из известных физических полей (барионное и ядерное) для макротел не занимает макроскопических пространственных областей, поэтому выбора здесь не остается. Поскольку гравитационное взаимодействие есть проявление свойства нейтрального электрического поля согласно введенной гипотезе, то отсюда качественно понятна малость величины $\sim 2,4 \cdot 10^{-43}$

отношения гравитационной и кулоновской сил взаимодействия двух электронов.

Поскольку мы здесь коснулись вопроса о природе гравитационного поля, то будет уместно также заметить, что:

гравитационных волн не существует, так как гравитационным полем является нейтральное электрическое поле.

Если колебания нейтрального электрического поля (гравитационного поля) приводят к излучению энергии, то это излучение будет являться электромагнитным, а не гравитационным.

Более подробные сведения о гравитационном поле будут изложены в отдельной работе.

Существование элементарных частиц, в структуре которых находится новое поле, расположенное внутри барионного поля, с радиусом действия $r < r_b$, должно быть доказано на опыте. В настоящее время такие частицы не обнаружены. Однако не исключено, что они могут быть найдены в экспериментах с использованием ускорителей более высокой энергии. Возможно, что протон является самой массивной, устойчивой к распаду, частицей и что других, более массивных устойчивых частиц, в Природе не существует. Следующей устойчивой частицей является электрон. И поскольку, как было показано выше, после области электрического поля у протона и электрона других полей не имеется, то не существует и более легких устойчивых частиц, чем электрон.

3. Расширение физических полей.

Из опыта известно, что электрические поля макроскопических зарядов могут занимать достаточно большие области пространства. Как этот факт надо связать с утверждением из пункта 2 о существовании у элементарного электрического заряда верхней границы R_0 электрического поля? Ответом на этот вопрос является утверждение:

Суперпозиция физических полей приводит к их расширению.

Для электрических и гравитационных полей это подтверждается на опыте в существовании их макроскопических размеров. Мы не можем допустить, чтобы верхняя граница R_0 электрического поля у элементарных частиц простиралась бы до галактических размеров и более, поскольку электрическое поле является частью их структуры.

Электрон же полностью состоит только из электрического поля, занимающего в пространстве ограниченный объем в виде

шарового слоя $r_0 \leq r \leq R_0$. Приблизненно верхнюю границу R_0 можно определить из наблюдаемой спектральной линии атома водорода при наибольшем значении главного квантового числа n .

У каждого сферически симметричного электрического поля существует своя верхняя граница R_{\max} , являющаяся функцией заряда Q , создающего данное поле.

Согласно пункту 2 за гравитационное поле одного атома было принято его нейтральное электрическое поле, которое ограничено в пространстве ввиду ограниченности электрических полей протонов и электронов и нейтрального электрического поля нейтрона, входящих в состав этого атома. При образовании макротел происходит расширение образуемого гравитационного поля, простирающегося на обширные области пространства. Это является наглядным примером, как из гравитационных полей атомов, занимающих малые области пространства, образуются макроскопические гравитационные поля. Наличие в Природе макроскопических электрических и гравитационных полей служит доказательством существования явления расширения этих полей при их суперпозиции. Это свойство расширения поля мы распространяем и на два других физических поля: ядерное и барионное.

Из опытов по рассеянию быстрых электронов и нейтронов на атомных ядрах были получены их размеры. Радиус атомного ядра определяется по формуле $R = r_0 A^{1/3}$, где A – массовое число (суммарное количество протонов и нейтронов в ядре), r_0 – некоторая эффективная длина, различная для разных атомных ядер.

Опыты по рассеянию быстрых электронов на некоторых атомных ядрах для r_0 дали следующие значения [7, стр. 62]:

для ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ – $r_0 = 1,32 \cdot 10^{-13}$ см; для ${}_{79}^{197}\text{Au}$ – $r_0 = 1,18 \cdot 10^{-13}$ см.

Из этих данных видно, что с увеличением номера химического элемента (величина заряда ядра) значение r_0 уменьшается, что свидетельствует о более плотной упаковке протонов и нейтронов в ядре. Если бы упаковка (плотность) нейтронов и протонов во всех ядрах была бы одинаковой, то тогда и значение r_0 для них было бы одним и тем же, не считая его изменения за счет кулоновского отталкивания. Здесь мы предполагаем, что рассматриваются только ядра, близкие к сферически симметричным. Уменьшение r_0 с ростом заряда ядра объясняется расширением ядерного поля. Ядерные поля протонов и нейтронов, находящиеся в ядре, частично перекрываются, что и приводит к небольшому увеличению радиуса

действия ядерных сил. Кулоновские силы отталкивания, действующие на протоны, должны были бы наоборот приводить к увеличению r_0 . Поскольку в ядре образуется общее ядерное поле, то его действие на нуклоны перекрывает эффект кулоновского расширения ядра.

Исходя из общего для всех физических полей свойства расширения поля, постулированного выше, заключаем, что и барионное поле также способно к расширению. Проявление этого свойства возможно только при сверхвысоких плотностях атомных ядер, существующих в недрах звезд.

4. Механизм взаимодействия физических полей.

Критический анализ механизма взаимодействия полей в квантовой теории поля дан нами в работе [4]. Напомним здесь, что в квантовой теории поля взаимодействие физических полей осуществляется посредством обмена виртуальными квантами соответствующих полей. Из изложенного в пункте 2 данной работы вытекает, что все физические поля ограничены в пространстве.

Это обстоятельство для электрических и гравитационных полей отрицает квантовый механизм взаимодействия. Два электрона, например, могут находиться друг от друга на таком расстоянии, при котором их электрические поля не пересекаются, в результате чего эти электроны между собой не взаимодействуют. Квантовая же теория говорит, что при любом расстоянии между электронами взаимодействие между ними существует, поскольку кулоновские силы считаются дальнедействующими. Да, но это в квантовой теории существует такое взаимодействие, но не в Природе. Взаимодействие между электрическими зарядами возможно лишь только в том случае, когда хотя бы один из этих зарядов находится в поле другого заряда. Если же электрические поля зарядов локализованы в ограниченном объеме пространства, то ясно, что в случае отсутствия пересечения этих полей ни о каком взаимодействии не может быть и речи. То же самое относится и к гравитационному полю.

Для ядерного поля, ограниченного в пространстве, квантовый механизм взаимодействия приводит к короткодействующему характеру ядерных сил. В этом вопросе квантовая теория поля также ошибается. В пункте 3 этой работы было рассмотрено представление о существовании расширения ядерного поля, подтверждаемого значениями размеров атомных ядер, полученных из опыта. В недрах звезд ядерное поле существует

в макроскопическом масштабе, размеры которого определяются плотностью ядерной материи. Существование макроскопического ядерного поля отвергает квантовый механизм взаимодействия ядерных полей, который должен обеспечивать их короткодействующий характер. То же самое относится и к барионному полю, которое в недрах звезд существует в макроскопическом виде.

Из опыта известно, что ускорение как элементарных частиц, так и макротел может происходить со сколь угодно малым изменением их скорости, а следовательно и малым изменением их кинетической энергии. Опыты по столкновению элементарных частиц высокой энергии приводят к рождению новых частиц. Эти частицы рождаются при помощи преобразования части кинетической энергии сталкивающихся частиц в их материальную структуру, а не при помощи физического вакуума КТП. Таким образом кинетическая энергия имеет материальный характер. Ускоряясь в некотором поле, частица поглощает из него энергию, уменьшая тем самым собственную энергию этого поля. Чисто формально это описывается в виде закона сохранения энергии. Так что же поглощает частица из поля при своем ускорении в нем? Вот ответ:

При ускорении в поле частица (тело) поглощает элементы поля, которые распределяются по всей ее массе и увеличивают ее кинетическую энергию.

Про элементы поля было описано в пункте 1 этой работы. **Наоборот, при торможении частицы в поле, часть ее кинетической энергии непрерывным образом переходит в материальную структуру тормозящего поля.**

Материальность кинетической энергии, которая наглядным образом следует из фактов рождения элементарных частиц, противоречит СТО, в которой кинетическая энергия является понятием относительным. Что же, тем хуже для теории. Изменяя систему отсчета, согласно СТО изменяется и кинетическая энергия рассматриваемого тела. Но если кинетическая энергия материальна, на что указывают опыты по рождению частиц, то каким образом тело приобретет кинетическую энергию простым изменением системы отсчета? А никаким, просто СТО в этом случае дает неправильное понимание кинетической энергии, являющейся абсолютной величиной, а не относительной, как это трактуется в СТО. Итак вывод:

Кинетическая энергия материальна и является абсолютной величиной, характеризующей внутреннее состояние тела.

5. Астрофизические следствия.

Свойство расширения барионного и ядерного полей в недрах звезд приводит к образованию макроскопических барионных и ядерных полей, играющих немаловажную роль в эволюции звезд. Модель звезды должна учитывать существующие в ее недрах макроскопические барионное и ядерное поля.

Природа и свойства квазаров, пульсаров и нейтронных звезд, вспышки новых и сверхновых звезд также могут быть объяснены существованием в их недрах макроскопических барионных и ядерных полей. Это новая физика звездных объектов.

Гравитационный коллапс звездного объекта, вытекающий из ОТО, при наличии макроскопического барионного поля становится невозможным. Вследствие этого невозможно и существование черных дыр.

Литература

1. Б. Риман. О гипотезах, лежащих в основании геометрии. В сборнике статей “Альберт Эйнштейн и теория гравитации”, стр. 18. Москва, “Мир”, 1979.
2. Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. Москва, “Наука”, 1992.
3. Недосекин Ю.А. Природа и идентификация резонансов. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 1.
4. Недосекин Ю.А. Неадекватное описание физической реальности квантовой теорией поля. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 2.
5. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. Москва, Учпедгиз, 1962.
6. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Книга 2. Москва, Энергоатомиздат, 1993.
7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Книга 1, Часть 1. Москва, Энергоатомиздат, 1993.

Недосекин Ю.А.

Энергия электрического поля

Аннотация

Существующее в классической электродинамике выражение для плотности энергии электромагнитного поля является постулативным. Показано, что энергия электромагнитного поля, как она понимается в классической электродинамике, является энергией взаимодействия зарядов, образующих данное поле. Основываясь, на введенном автором этой работы представлении о конечном радиусе электромагнитного взаимодействия, зависящим от величины заряда, создающего данное электрическое поле, рассмотрен процесс образования макроскопического электрического поля. Предложена опытная проверка по обнаружению зависимости конечного радиуса электромагнитного взаимодействия от величины заряда, создающего данное электрическое поле.

Содержание

1. Определение энергии электрического и магнитного полей в классической электродинамике
2. Энергия электрического поля заряженной сферы
3. Новая концепция образования макроскопического электрического поля

Литература

1. Определение энергии электрического и магнитного полей в классической электродинамике.

В учебной и научной литературе не дается подробных разъяснений о понятии энергии электрического поля. Вводятся такие понятия как энергия взаимодействия электрических зарядов, собственная энергия заряда, энергия электрического поля [1, стр. 76 – 86]. Рассмотрим эти понятия по отдельности.

1.1. Энергия взаимодействия системы точечных зарядов определяется выражением

$$W_B = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \frac{e_i e_j}{r_{ij}} \quad , \quad i \neq j \quad , \quad (1)$$

где r_{ij} – расстояние между зарядами e_i и e_j . Физический смысл энергии взаимодействия W_B может быть раскрыт следующим образом.

Если все заряды системы одного знака (положительные или отрицательные), то энергия W_B равна энергии, которую выделяют внешние силы при перемещении всех зарядов системы из бесконечности до занимаемых ими положений r_{ij} .

Выделяемая энергия материальна и распределяется в пространстве вокруг всех зарядов, входящих в данную систему. Здесь важен вопрос:

во что превращается выделяемая материальная энергия или же какими свойствами она обладает?

В классической электродинамике, так же как и в квантовой и релятивистской, такой вопрос не ставится. Даже выражение “выделяемая энергия” в этих теориях не содержится. Говорится, что энергия взаимодействия (в случае, когда $W_B > 0$), представляет собой часть энергии поля, в которую помимо $W_B > 0$ входит еще и собственная энергия взаимодействующих зарядов.

Если среди зарядов, входящих в систему, имеются как положительные так и отрицательные, то энергия W_B может быть либо положительной, либо отрицательной или равной нулю.

Если энергия взаимодействия $W_B < 0$, то из энергии поля системы зарядов энергия поглощается либо самими зарядами, если они свободны, либо внешними силами, удерживающими эти заряды в занимаемых ими положениях.

При $W_B = 0$ энергия поля системы зарядов не изменилась.

Каждый из зарядов e_i системы имеет собственное электрическое поле с напряженностью \bar{E}_i . Напряженность поля системы зарядов равна

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^n \bar{E}_i . \quad (2)$$

Выражение (2) соответствует принципу суперпозиции электрических полей, опытная проверка которого определена с высокой точностью.

К поставленному выше вопросу о выделяемой энергии при $W_B > 0$ мы вернемся позднее, поскольку в этом пункте рассматривается, как понимается энергия поля в классической электродинамике.

1.2. Собственная энергия заряда определяется в [1, стр. 84] следующим образом:

“... приписывая заряду e некоторый объем, разбивая его на элементы de_i и вычисляя энергию взаимодействия этих элементов, мы получим сумму положительных выражений типа $de_i de_k / R_{ik} \dots$

Собственная энергия заряда зависит, конечно, от его размеров и равна той работе, которую совершили бы силы взаимного отталкивания между элементами заряда, если бы эти элементы разлетались в стороны и удалились в бесконечность.”

Красноречивое определение собственной энергии заряда, не правда ли? Оно черным по белому говорит, что собственная энергия заряда (которая эквивалентна собственной энергии его электрического поля) равна энергии взаимодействия его составных частей. Но раз мы говорим о взаимодействии элементов de_i заряда e , то эти элементы de_i обладают электрическим полем и содержат некоторое количество элементарных электрических зарядов. Элементы de_i заряда e сами обладают своей энергией поля, следовательно, исходя из вышеописанной цитаты, собственная энергия элементов de_i не входит в собственную энергию заряда e . Если бы элементы de_i заряда e удалились на бесконечность, то они приобрели бы кинетическую энергию, равную собственной энергии заряда согласно определению в выше упомянутой цитате. Но эти элементы de_i имеют и собственную электрическую энергию, которая, как мы видим, не вошла в собственную энергию заряда e . Элементы de_i заряда e можно взять по величине либо немного побольше, либо немного поменьше, но только чтобы сам заряд e при этом оставался постоянным, тогда величина собственной энергии заряда практически не изменится.

Здесь важно выяснить, что же понимается в физике под понятием собственной энергии заряда, которая эквивалентна понятию собственной энергии поля электрического заряда. Чтобы это прояснить достаточно ясно, необходимо дать определение понятию электрического поля. Во многих учебниках и монографиях понятие электрического поля вводится формально, например, в таких формулировках:

1) Если в пространстве существуют силы, действующие на электрические заряды, то мы говорим о существовании электрического поля.

2) Необходимо допустить наличие между электрическими зарядами некоторого физического агента, осуществляющего их взаимодействие. Этим агентом и является электрическое поле.

Довольно скудные определения. А ведь еще Фарадей говорил о поле, как о некоторой физической среде, передающей взаимодействие от одного заряда к другому (теория близкодействия). Уточняя фарадеевское понятие поля, введем следующее его определение:

Электрическое поле – это некоторая непрерывная материальная среда, существующая вокруг электрического заряда и действующая на внесенные в нее электрические заряды.

1.3. Под энергией электрического поля понимают следующие выражения [1, стр. 78, 82] :

$$W_E = \frac{1}{2} \int \rho \varphi dV + \frac{1}{2} \int \sigma \varphi dS \quad , \quad (3)$$

$$W_E = \frac{1}{8\pi} \int E^2 dV \quad , \quad (4)$$

где ρ, σ – соответственно объемная и поверхностная плотности электрических зарядов; φ – значение потенциала поля всех объемных и поверхностных зарядов в элементе объема dV или на элементе поверхности dS ; E – напряженность электрического поля, созданного заданным распределением зарядов.

Выражения (3) и (4) определяют так называемую полную энергию системы электрических зарядов, которая равна сумме собственных энергий зарядов системы и энергии их взаимодействия. Но в пункте 1.2 мы установили, что под собственной энергией заряда понимают энергию взаимодействия его составных частей (малых элементов заряда). В итоге получается, что выражения (3) и (4) также представляют собой лишь только энергию взаимодействия всех элементов заданного распределения зарядов.

Формула (1), выражающая энергию взаимодействия W_B точечных зарядов e_i , конечно же, не содержит собственной энергии самих зарядов e_i . Этим она и отличается от энергии полного поля, определяемой выражениями (3) и (4).

Из формулы (4) следует, что $W_E > 0$ всегда при наличии хотя бы одного сколь-угодно малого заряда.

Полная энергия W_E , определяемая по формуле (4) через напряженность поля \vec{E} , создаваемого системой зарядов, является суммарной энергией их взаимодействия.

В уравнение (4) [1, стр. 82] вкладывается следующий физический смысл:

“... носителем электрической энергии является электрическое поле, причем энергия поля локализована в пространстве так, что в каждой единице объема содержится количество энергии $w = \frac{1}{8\pi} E^2 \dots$ ”

1.4. Если в некотором объеме пространства существует наряду с электрическим полем \vec{E} и магнитное поле \vec{H} , то за объемную плотность энергии этих полей в вакууме принимают выражение

$$w = \frac{1}{8\pi} (E^2 + H^2), \tag{5}$$

называемое плотностью энергии электромагнитного поля.

Под энергией квазистационарного магнитного поля понимается энергия взаимодействия токов [1, стр. 370]:

“Нетрудно, однако, выразить магнитную энергию токов в форме интеграла по всему объему поля этих токов и тем самым, как и в случае электрического поля, получить возможность интерпретировать энергию W_M в духе теории близкогодействия как энергию поля, а не как энергию взаимодействия токов.”

Энергия магнитного поля в вакууме определяется выражением

$$W_M = \frac{1}{8\pi} \int H^2 dV, \tag{6}$$

которая может быть истолкована следующим образом [1, стр. 371]:

“... магнитная энергия локализована в поле и распределена по его объему со вполне определенной плотностью ...”

В вакууме эта плотность равна

$$w_M = \frac{1}{8\pi} H^2. \tag{7}$$

Магнитная энергия взаимодействия n токов определяется формулой [1, стр. 359]

$$W_M = \frac{1}{2c^2} \sum_{i,k=1}^n L_{ik} J_i J_k. \tag{8}$$

В квазистационарных магнитных полях выражения (6) и (8) эквивалентны [1, стр. 371].

Полная энергия электромагнитного поля, как она понимается в классической электродинамике, равна сумме энергий, определяемых по формулам (4) и (6)

$$W = \frac{1}{8\pi} \int (E^2 + H^2) dV. \tag{9}$$

Подытоживая описанное, приходим к заключению, что выражение (9) определяет энергию электромагнитного поля как сумму энергий взаимодействия электрических зарядов и токов.

Если электромагнитное поле находится в среде, то его энергия запишется в виде [1, стр. 419]

$$W = \frac{1}{8\pi} \int \overline{DE} dV + \frac{1}{8\pi} \int \overline{BH} dV . \quad (10)$$

Выражение (9) является частным случаем выражения (10), когда электромагнитное поле находится в вакууме. Выражение (10) в электродинамике постулируется как дополнение к уравнениям Максвелла [1, стр. 419]. Такое постулирование оправдано только в случае, если под энергией W в (10) иметь ввиду энергию взаимодействия зарядов и токов, о чем подробно было описано выше.

Однако, электромагнитные поля могут существовать и без зарядов и токов, например, в электромагнитных волнах, для описания которых использование выражений (9) и (10) является безосновательным, так как плотность энергии электромагнитного поля, эквивалентная плотности энергии той материальной среды, свойства которой проявляются в виде электрического и магнитного полей, вовсе не обязана определяться выражением (5), являющимся результатом взаимодействия зарядов и токов.

По этому вопросу Р. Фейнман писал [2, стр. 293]:

“Для u и \overline{S} можно фактически написать бесконечное число различных выражений, и до сих пор никто не думал над экспериментальной проверкой того, которое же из них истинное. Люди полагают, что простейшее выражение, по-видимому, и должно быть истинным, но надо сознаться, что мы так и не знаем, как же на самом деле распределена энергия в электромагнитном поле.”

В этой цитате u – плотность энергии электромагнитного поля, \overline{S} – поток энергии поля.

Это высказывание означает неопределенность в определении выражения для плотности энергии электромагнитного поля. Надо отдать должное Р. Фейнману, который в своих лекциях и книгах не обходил молчанием существующие трудности в понимании тех или иных физических проблем.

2. Энергия электрического поля заряженной сферы.

Полная энергия равномерно заряженной сферы, как известно, в классической электродинамике равна

$$W_0 = \frac{1}{8\pi} \int E^2 dV = \frac{Q^2}{2R}, \quad (11)$$

где Q – полный заряд сферы, R – ее радиус.

Вычислим энергию, необходимую для того, чтобы зарядить сферу радиуса R до заряда $Q = Nq$, где N – количество зарядов q . Пусть заряд q также равномерно распределен по поверхности небольшого шарика радиуса a . При “сборке” заряда Q заряды q будем считать точечными, а число N таких зарядов достаточно большим. Заряды q располагаем сферически симметрично таким образом, чтобы их центры находились на сфере радиуса R . Только для небольшого числа первых таких зарядов q сферическая симметрия их распределения будет приближенной, но ввиду большого числа N этих зарядов этой неточностью можно пренебречь. Будем также считать, что выполняется принцип суперпозиции для зарядов q . При “сборке” заряда $Q = Nq$ каждый заряд q будем перемещать из бесконечности до поверхности сферы радиуса R . При таком перемещении заряда q будет затрачиваться энергия на преодоление силы отталкивания со стороны образуемого заряда Q , которая равна

$$W_i = \frac{qQ_{i-1}}{R}, \quad (12)$$

где $Q_{i-1} = (i-1)q$, $i = 1, 2, \dots, N$. Поле сферически симметричного распределения зарядов на сфере эквивалентно полю полного заряда сферы, находящегося в ее центре. Это свойство и было использовано при записи формулы (12).

Для всех зарядов q , “осевших” на сфере, в соответствии с формулой (12) запишем полную энергию, затраченную при их перемещении из бесконечности на сферу

$$W_Q = \frac{q^2}{R} + \frac{2q^2}{R} + \dots + \frac{(N-1)q^2}{R} = \frac{N(N-1)q^2}{2R} = \frac{Q^2}{2R} \left(1 - \frac{1}{N}\right). \quad (13)$$

Сравнивая выражения (11) и (13), запишем

$$W_Q = W_0 \left(1 - \frac{1}{N}\right). \quad (14)$$

Как видно из (14), энергия, затраченная на “сборку” заряда Q , на $\Delta W = W_0 / N$ меньше собственной энергии заряда Q ,

определяемой по формуле (11). Поскольку $(1/N) \ll 1$, то из (14) запишем $W_Q \approx W_0$.

Собственная энергия всех зарядов q равна

$$W_q = N \frac{q^2}{2a} = \frac{N^2 q^2}{2R} \cdot \frac{R}{aN} = W_0 \frac{R}{aN}. \quad (15)$$

Тогда полная энергия заряженной сферы запишется в виде

$$W = W_Q + W_q = W_0 + W_0 \frac{R}{aN} = W_0 \left(1 + \frac{R}{aN} \right). \quad (16)$$

Поскольку заряды q предполагаем сосредоточенными на механических шариках радиуса a , то их количество на сфере радиуса R при упаковке, когда один заряд q занимает площадь $4a^2$, окажется равным

$$N_{\max} = \frac{4\pi R^2}{4a^2} = \pi \left(\frac{R}{a} \right)^2. \quad (17)$$

Для $N = N_{\max}$ из (16) и (17) получим

$$W = W_0 \left(1 + \frac{a}{\pi R} \right). \quad (18)$$

Из выражения (18) при $\lambda = \frac{a}{\pi R} \rightarrow 0$ следует $W = W_0$.

Таким образом энергия W , затрачиваемая на “сборку” заряда $Q = Nq$ при $\lambda \approx 0$, равна энергии W_0 , определяемой по формуле (11). Но энергия W_0 в формуле (11) трактуется в классической электродинамике как собственная энергия поля, созданного зарядом Q . Мы же показали на примере с заряженной сферой, что эта энергия равна энергии взаимодействия всех зарядов, образующих на сфере заряд Q .

Как было замечено в пункте 1.1, при взаимодействии зарядов одного знака происходит выделение энергии внешними силами. И эта энергия равна энергии, затрачиваемой на “сборку” заряда Q .

Исходя из этого, приходим к следующему выводу:

энергия электрического поля, определяемая выражением

$$W_E = \frac{1}{8\pi} \int E^2 dV, \quad \text{является энергией взаимодействия всех}$$

зарядов, образующих данное поле.

3. Новая концепция образования макроскопического электрического поля.

В классической электродинамике существует принцип суперпозиции кулоновских сил, действующих на пробный заряд q_0 со стороны всех других заданных зарядов

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i \quad , \quad \text{где} \quad \vec{F}_i = \frac{q_0 q_i}{r_i^3} \vec{r}_i . \quad (19)$$

Формулы (19) выражают независимость действия электрических сил между любой парой зарядов независимо от существования других зарядов. Если в (19) перейти к выражению кулоновской силы через напряженность электрического поля, то получим

$$\vec{F} = \sum_i q_0 \vec{E}_i = q_0 \vec{E} \Rightarrow \vec{E} = \sum_i \vec{E}_i . \quad (20)$$

Последнее равенство в (20) выражает принцип суперпозиции электрических полей, использующийся при расчетах полей распределенных зарядов.

Выражения (19) и (20) можно использовать только при допущении, что кулоновские силы являются дальнодействующими. Это положение является одним из основных в классической электродинамике. Если же допустить, что электрические поля зарядов ограничены в пространстве, на что было указано в нашей работе [3], то использование формул (19) и (20) является в общем случае неправомерным.

При образовании макроскопического электрического заряда $q = \sum_i q_i$ образуется общее электрическое поле \vec{E} , которое действует на пробный заряд с силой $\vec{F} = q_0 \vec{E}$. Если же при этом электрические поля зарядов q_i ограничены некоторым радиусом действия r_i , то на расстояниях $r > r_i$ нельзя считать, что эти заряды действуют на пробный заряд с силой, определяемой по формуле (19), поскольку на этих расстояниях каждый из зарядов q_i не имеет своего собственного электрического поля. Общее же макроскопическое электрическое поле действует на пробный заряд на расстояниях $r > r_i$ и оно образуется по описанным ниже причинам.

В предыдущем пункте было показано, что энергия электрического поля, вычисляемая в классической электродинамике, является энергией взаимодействия одноименных зарядов, образующих данное поле. Энергия же взаимодействия этих зарядов

равна энергии, выделяемой при образовании данного распределения зарядов. Исходя из определения электрического поля, введенного в пункте 1.2, оно представляет собой некоторую материальную среду, выражение для плотности энергии которой $w(x, y, z)$ в настоящее время неизвестно. Считать же, что

$$w(x, y, z) = \frac{1}{8\pi} E^2$$
 нет достаточно веских оснований, как об этом

справедливо заметил Р. Фейнман [2, стр. 293].

При образовании макроскопического электрического заряда, как было показано выше, происходит выделение энергии, затрачиваемой на преодоление кулоновских сил отталкивания. В пункте 1.1 был поставлен вопрос: во что переходит выделяемая при сближении одноименных зарядов энергия?

В нашей работе [3] было введено представление о локализации поля элементарного электрического заряда в ограниченном объеме пространства. Из опыта же известно существование макроскопических электрических полей. Поскольку при образовании макроскопического заряда $q = Ne$ (e – величина элементарного электрического заряда) происходит выделение энергии и поля элементарных электрических зарядов ограничены в пространстве, то существование макроскопических электрических полей указывает на то, что выделяемая при сближении одноименных зарядов энергия превращается в электрическое поле.

Это обстоятельство можно прояснить еще и следующим образом. Электрон при сближении с протоном увеличивает свою кинетическую энергию за счет поглощения энергии из электрического поля протона, в результате чего плотность энергии электрического поля протона уменьшается. После того, как электрон начнет удаляться от протона, он возвратит протону поглощенную из него энергию, вследствие чего плотность энергии электрического поля протона примет прежнее значение. В этом процессе кинетическая энергия электрона переходит в структуру электрического поля протона, поскольку протон остается таким же, каким он и был до сближения с электроном. Исходя из этого факта, приходим к заключению, что выделяемая при сближении одноименных электрических зарядов энергия переходит в материальную структуру электрического поля этих зарядов. На основе вышесказанного констатируем следующее утверждение.

Макроскопическое электрическое поле образуется при увеличении концентрации элементарных одноименных

электрических зарядов за счет превращения выделяемой при этом энергии в электрическое поле.

Сферически симметричное макроскопическое электрическое поле имеет верхнюю границу своего расположения в пространстве, являющейся функцией заряда, образующего данное поле. Если сферически симметричное электрическое поле создано равномерным распределением заряда на поверхности сферы радиуса a , то оно расположено в области пространства, заключенной между концентрическими сферами $a \leq r \leq R_{\max}$, где R_{\max} – верхняя граница сферически симметричного электрического поля.

Пусть R – радиус действия электрических сил для поля, созданного сферически симметричным зарядом q . При перемещении одноименного элементарного электрического заряда e от расстояния R до a выделяемая энергия равна

$$W_e = -\int_R^a \frac{qe}{r^2} dr = qe \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{R} \right). \quad (21)$$

Используя выражение (21) можно было бы, как это было проделано в пункте 2, вычислить энергию, затрачиваемую на “сборку” заряда $q = Ne$, равномерно распределенного по поверхности некоторой сферы. Однако, поскольку поля элементарных электрических зарядов e локализованы в ограниченной области пространства [3], то образование макроскопического электрического поля наступит лишь только при достижении такой плотности зарядов на поверхности сферы, при которой расстояния между соседними элементарными зарядами станут меньше значения R_0 – верхней границы электрического поля элементарного электрического заряда.

В этом случае будет образовываться макроскопическое электрическое поле, которому соответствует некоторый фиктивный заряд $q < q_0$, где $q_0 = Ne$ – реальный электрический заряд, равномерно распределенный по поверхности сферы. Фиктивный заряд q – это тот заряд, который соответствует наблюдаемой величине напряженности образующегося макроскопического электрического поля. Фиктивный заряд q является функцией реального заряда, т.е. $q = q(q_0)$.

В связи с этим необходимы экспериментальные исследования по измерению напряженности E образующегося

макроскопического электрического поля. Тогда значение фиктивного заряда определится в виде

$$q = Er^2, \quad (22)$$

где r – расстояние от пробного заряда до центра сферы, если реальный заряд q_0 формируется на ее поверхности. В качестве пробного заряда можно взять электронный луч, распространяющийся вблизи заряженной сферы, с возможно наименьшей скоростью движущихся в нем электронов. Подобные опыты выявят не только величину образующегося фиктивного заряда $q = q(q_0)$, но и помогут выявить зависимость верхней границы электрического поля от величины реального заряда q_0 . Знание верхней границы электрического поля позволит вычислить энергию, затрачиваемую на “сборку” реального заряда $q_0 = Ne$. В этих опытах реальный заряд q_0 необходимо определять из количества “осевших” на поверхность сферы элементарных зарядов прямым подсчетом.

Пусть заряд q_0 равномерно распределен по поверхности сферы радиуса a . Тогда его электрическое поле расположено в области шарового слоя $a \leq r \leq R$, где $R(q_0)$ – верхняя граница этого поля, зависящая от величины реального заряда q_0 . Перемещение заряда dq_0 от расстояния R до a при фиксированном значении фиктивного заряда $q = q(q_0)$ приводит к выделению энергии

$$dW = - \int_R^a \frac{q(q_0) dq_0}{r^2} dr = q(q_0) dq_0 \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{R} \right), \quad (23)$$

где $R = R(q_0)$ – функция реального заряда q_0 , R – верхняя граница образующегося электрического поля. Учитывая (23), получим выражение для величины выделившейся энергии при перемещении зарядов dq_0 в образующемся макроскопическом электрическом поле

$$W = \int_0^{q_0} q(q_0) \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{R(q_0)} \right) dq_0. \quad (24)$$

Литература

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: “Наука”, 1976.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 6. Электродинамика. М.: “Мир”, 1977.
3. Недосекин Ю.А. Природа пространства и физических полей. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 2.

Терехов В.Б.

Метафизика в науке: парадоксы картины мира

Аннотация

В статье кратко излагается междисциплинарная концепция, названная автором "метасистематика". Концепция находится на стыке философии (онтология, праксеология, логика и методология науки), психологии (в особенности психологии творчества и эвристики), общей теории систем и научно-прикладного направления, называемого "искусственный интеллект". Творчески переосмыслены широко известные идеи М.Минского, Т.Куна, С.Лема, З.Фрейда, Н.Винера, Г.Альтшулера, Н.Амосова. Автор также предлагает новую эвристическую методологию: "метаанализ".

Оглавление

1. Имитационное моделирование
 2. Философия и междисциплинарные концепции.
 3. Ядро метафизики.
 4. Метафизика и метасистематика.
 5. Метасистематика и метафизическая проблема времени.
 6. "Динамическое" мышление
 7. Сумма очевидного
 8. Целостная личность
 9. Метафизическая субтракция: Вселенная минус Время
 10. Неопределённость и иерархии
 11. Метасистемный барьер трансляции
 12. Интроспективный искусственный интеллект
- Литература

1. Имитационное моделирование

Во второй половине XX века появились научные модели интеллекта в рамках различных кибернетических теорий: теория динамического моделирования Дж. Форрестера и теория эвристического моделирования академика Н.М. Амосова [1],

использовавшие *имитационный* метод моделирования: умозрительные гипотезы и построения, экспериментальной проверки в обозримом будущем не предвиделось. Были предложены научные объяснительные модели [2] сложных психических явлений интеллекта: сознания, чувств, творчества, озарения, и т.п. Моделируется динамика механизмов мышления, но Амосову в то время не удавалось заинтересовать этими моделями физиологов и психологов [3].

В рамках имитационного метода структура искусственного интеллекта уровня человека предполагается подобной структуре естественного (преодолен антропоцентризм). Такие феномены как сознание, чувства или способность к творчеству уже рассматриваются как конструктивно необходимые. Н.М. Амосов использует новый термин: интегральное чувство "приятно-неприятно" (Пр-НПр), который сопоставим с понятием аффективного тонуса у И.П. Павлова. При этом механизм сознания рассматривается как алгоритмический модуль: система усиления-торможения (СУТ), а сознание определено как "движение активности по значимым моделям" [4]. Амосов формулирует понятие интеллектуальной модели (информационной последовательности или нейронного ансамбля) как образа, чувства, мысли. Описываются функции сознания, физиологических потребностей и убеждений, общество искусственных интеллектов (ИИ).

В "традиционной" психологии моделируют системы ролевого социального поведения, а круг практических задач определяется идеями улучшения социальной адаптации, оценки личности, её изменения и управления. Психологические теории моделируют личность путём описания интеллекта, рассматриваемого "извне", сравнительного анализа индивидов и классифицирования по группам, описания ролей, характера и отдельных психофизиологических феноменов. Сравнивая такой подход с теорией Н.М. Амосова можно отметить, что его теорию не корректно относить к психологии. Быть может, следует применить какой-нибудь новый термин - например, киберпсихология?

2. Философия и междисциплинарные концепции.

Новые, кибернетические теории находятся в междисциплинарной области. Отец кибернетики, Норберт Винер, в

книге "Я - математик" [5] советовал искать новые задачи на стыке известных дисциплин. Понятия кибернетики и философии пересекаются: достаточно упомянуть хотя бы понятие сознание. Философская мысль присутствует в естественнонаучном исследовании, и, наоборот, естественнонаучная мысль формирует новые мировоззренческие концепции. Научные работники могут возражать против навязывания идеологических стереотипов, а это было, например, в бывшем СССР, можно сомневаться и в конструктивности перенесения естественнонаучных концепций в сферу мировоззрения, как это произошло с идеями швейцарского физика И. Пригожина.

Нельзя дать простое и бесспорное определение философии и метафизики. Продукт философского творчества - словесные рассуждения. Связанные словесные рассуждения невозможны вне логики, а философское исследование - выражение трансформации самой логики. Часто умозрительные построения, не опирающиеся непосредственно на эксперимент, называют метафизическими. В XVII веке естествознание переносит акценты на экспериментальное исследование. Формируется мнение, что роль метафизики, как умозрительных построений, должна быть ограничена, а на первом плане должна быть экспериментальная верификация. Позже вновь возрождается интерес к метафизике. Н.Винер ссылается [6] на метафизику французского философа Анри Бергсона [7], и использует его метафизическое понятие *длительность*.

Мировоззрение содержится в естественнонаучных теориях в неявном или явном виде, а задачей фундаментальной научной теории часто считают построение соответствующей ей картины мира. На протяжении тысячелетий развития цивилизации появилось множество различных концепций и систем взглядов, и многие кажутся и считаются антагонистическими. Также отмечают существенные различия, сравнивая крупные пласты человеческой культуры: философию, религию, науку, искусство. Но при столь пёстрой картине и различиях во всём этом многообразии есть нечто общее.

3. Ядро метафизики.

Т. Кун сформулировал понятие научной парадигмы. Если рассмотреть любую парадигму, можно обнаружить, что она структурирована и представляет собой комплекс идей, методов и т.д. Две различные парадигмы могут иметь общие идеи, - так сказать,

парадигму парадигм. Существует ли некое ядро, парадигма парадигм всей человеческой культуры, рассматриваемой за период времени, доступный для исторического исследования? Такая парадигма парадигм существует. Это - метафизическое ядро, которое можно назвать каноническим, т.к. оно неявно и устойчиво. (Далее понятие "метафизика" используется в узком значении как каноническое ядро: категориальное мышление, предпосылка простоты мира, неявная натурфилософия.)

Метафизическое ядро можно охарактеризовать как космологизм представлений о вселенной: вселенная описывается как модульная система. Представления о многослойной, модульной вселенной есть в самых древних мифологических представлениях об устройстве мира. Есть, например, схема трёхкомпонентная: Земля, Небо, Преисподняя. Такая схема принята в вавилонской, библейской и мусульманской космологиях. Известны также многочисленные древние представления о дереве мира. Развивал космологическую концепцию Птолемей; он описывал космическое веретено (ось мира), которое образовано восемью вложенными друг в друга полусферами. В подробном, красочном и наглядном виде космологическая схема представлена у Данте Алигьери в его "Божественной комедии". Его схему отличает наличие модульных уровней.

Такие описания мира неадекватны самому миру.

Представление о простоте мира, возможности всеобщей "пирамиды" - результат методологической предпосылки о возможности моделирования устройства мира схемой структурной пирамиды. Эта *схема* состоит из элементов. Можно провести аналогию между *схемой мира* и чертежом механического устройства, состоящего из конструкционных модулей или сборочных узлов, которые в свою очередь состоят из субмодулей или подузлов (а подузлы из под-подузлов, и т.д.) и деталей. Схема - всегда простая модель, а простая модель может быть тождественна только простой моделируемой системе. (Под простой системой здесь понимается *иерархическая* модульная структура независимо от числа её уровней и элементов).

Космологические представления зародились в древнейшие времена, когда человек только-только начинал задумываться над фактом существования вселенной. Первобытный человек-философ начинал рассуждать об устройстве мира, но не включал в его схему самого себя, так как рассматривал мир в силу инерции метода отдельно от себя, а именно, так же как и любую другую вещь, с

позиции стороннего наблюдателя. Затем стали замечать возникающие парадоксы в рассуждениях, но вместо того, чтобы отказаться от парадоксальной картины мира, продолжали её дотраивать, модифицировать и маскировать тупики парадоксов. Выделяются понятия времени, развития, становления и движения как всеобщие понятия: категории. Категории являются слоями, модулями картины мира. Категории характерны для канонического метафизического мышления, которое именно поэтому можно называть *категориальным мышлением*. Достройка схемы не устраняет парадокс, ведь устранить его принципиально невозможно.

Далее появляется идея о некоем всемирном разуме или иное категориальное понятие, которое как концептуальная заплатка должна скрыть или хотя бы прикрыть парадокс всемирной пирамиды. Философствующий разум не замечает, что представление о всемирном разуме - это тень его *собственного разума*, падающая на созданную им метафизическую схему. Тень того самого разума, который изначально был *исключён* из картины мира.

Это метафизическое ядро присутствует и преемственно сохраняется во всей современной культуре, - в философии, естествознании, искусстве и обыденном мышлении. Наука и философия мифологизированы [8]. Философия кажется немислимой без философских категорий, а наука без всеобъемлющих понятий. Понятиям стремятся придать однозначность, а понятийный аппарат организовать как иерархию. Такой подход – это *исключающее классифицирование*.

Любая тоталитарная идеология, в основе которой лежит простая метафизическая картина мира, призывает к единству и чистоте своей идеологической пирамиды. Но в пирамиде всегда скрыт её неразрешимый парадокс, а призыв к "окончательному решению *какого-либо* вопроса" часто означает призыв к насилию над личностью и жизнью.

Легко провести параллели между отдельными *простыми* космологическими схемами античности и некоторыми научными теориями XX века.

Вот, например, миф о хаосе. В "Геогонии" Геосида, "Илиаде" и "Одиссее" Гомера можно найти описание рождения мира из хаоса: всё возникло из хаоса - весь мир и бессмертные боги. Этот миф как бы противостоит подробно детализированным описаниям многослойных схем мира, но только на первый взгляд. Представление о простоте мира присутствует и здесь. В схеме есть дополнительная пирамида - представление о всеобщности развития

и времени: мир возникает из хаоса, он имеет начало. Основная пирамида имеет два слоя (двухкомпонентная схема): бессмертные боги и остальная часть мира. При более глубоком анализе можно обнаружить категорию, скрытую в контексте: это самоорганизация. В XX веке античный миф о хаосе возродился в теории физика Ильи Пригожина (синергетика). Несмотря на "неблагородное" происхождение (синергетика - физическая теория) она стала претендовать на роль новой философии и универсальное применение.

Ещё одна теория XX века - теория физического вакуума, или психофизика. В её рамках физический мир рассматривают как надстройку над физическим вакуумом. Начав с этого, психофизики затем стали усложнять физическую картину мира. В одной из теорий психофизики физический вакуум становится уже многослойным, он состоит из семи уровней различных вакуумов и торсионных полей. Вслед за идеей многоуровневого расслоения физического вакуума у физика "вдруг" возникает мысль о существовании Божественного Сознания, плана и замысла [9].

Физику почти невозможно представить без использования понятий время и пространство, которые понимают как категории простой модели - физической картины мира. В квантовой механике есть понятие пространственно-временной континуум: в этом случае схема усложняется, становится иерархически двухуровневой. Слой пространственно-временного континуума состоит из пространства и времени, как слоёв второго уровня (субмодули схемы). Но не только в физике обнаруживается каноническое ядро. С развитием информатики появились представления об информационных полях; мир представляется матрёшкой, состоящей из вложенных друг в друга структурных пирамид. Так рождаются новые мифы.

4. Метафизика и метасистематика

Каноническое ядро начинает трансформироваться. Как отметил С.С. Гусев [10], "... *"идея простоты мирового устройства"*, с которой связано формирование первых научных описаний, в последнее время энергично вытесняется ориентацией на *"простоту теории"*. Схемы категориального мышления обнаруживают свою неадекватность реальной сложности. Неадекватность определяется скрытым в них парадоксом: исключением наблюдателя из картины мира. История показывает, что столетиями творческая мысль пыталась не отказаться от этого парадокса и принять иную

логическую схему, а дополнить и достроить, завуалировать его, подменить другим парадоксом, затем третьим, и т.д.

В модификации и трансформации теоретических построений наблюдается преемственность. Такая трансформация парадоксов концептуальных схем является доминирующим способом развития естественнонаучных, философских, религиозных и иных концепций, причём в практическом плане - результативным. Парадоксы, - или "аномальные зоны науки" [11], - служат маяками, на которые ориентируется творческая мысль, и к тому же являются мощным стимулятором творческого процесса. А в искусстве парадоксы – это способ создания эмоционального напряжения и разрядки. Они используются также в практике манипулирования сознанием.

Но в определённых вопросах каноническая метафизика оказывается тормозом. Необходима альтернативная идея. Излагаемая здесь концепция имеет иное логическое ядро. Новая концепция, названная "метасистематика" - своего рода мета-метафизика, или анти-метафизика (Здесь использован материал из рукописей "Парадигма эксформатики: моделирование самопрограммирующихся и интеллектуальных систем", 1999, и "Сумма очевидного", - первоначальное наименование "Эзотерика творчества", 2000-2001).

Если считать, что вселенная включает в себя *всё*, то вне вселенной не может быть ничего. Следовательно, вселенную невозможно наблюдать "извне" и "рисовать" картину мира как модульную схему. Научное познание, как указал Т. Кун [12], начинается с систематизации и классифицирования. Такие понятия как система, структура, объект, сравнительный анализ и т.д. прочно вошли в научный лексикон. Но адекватно ли они понимаются, и какое значение вкладывают в него исследователи в контексте прикладных работ? Если рисуется картина мира, то, что представляет собой эта картина, - систему? - А что представляет собой сам "рисуемый" мир, - систему ли?

Необходимы новые определения. Вот одно из типичных на сегодняшний день определений понятий система: "Система - это совокупность элементов, связанных общей функцией" [13]; но корректнее дать такую дефиницию: система - структура *соответствующих* элементов, рассматриваемая в отношении *иных* систем. Если система рассматривается "изнутри", то рассматривается её структура. Если система рассматривается "снаружи", то рассматривается её отношение к иным, "внешним"

системам и объектам. Отношение к внешним системам - это параметры, функции, свойства, атрибуты и т.п. рассматриваемой системы или объекта. Эти отношения могут систематизироваться, и рассматриваться как структура атрибутов: *параструктура* (Параструктура – слияние от ПАРАметрическая СТРУКТУРА.) Преимущество нового термина в том, что он не вуалирует структурированность атрибутов и не навязывает неявно представление о всеобщности времени, как слово "функция". Далее, о понятии "субстанция". Под субстанцией понимается система рассматриваемая "снаружи", автономная система как чёрный ящик (система, существующая обособленно), структура которого неизвестна или не рассматривается. Т.о., исследуемую систему можно рассматривать "изнутри": структуру системы, - "снаружи": систему как целое, как субстанцию. Хотя вселенная структурирована, она не является субстанцией (её невозможно рассматривать "снаружи"), поэтому её нельзя считать системой. Её структура - неиерархическая: сверхсложная, свободная, но отнюдь не хаос.

5. Метасистематика и метафизическая проблема времени.

Одно из понятий времени - *психологическое время* - определяется как проекция сознания наблюдателя/исследователя (мыслящего интеллекта) на простую картину мира. Интеллект никоим образом не может непосредственно воспринимать механизмы собственного мышления, в т.ч. и собственное сознание. Человек может видеть себя в зеркале; человек всегда видит себя со стороны, объективирует представление о себе в образы, а собственное сознание ощущает *косвенно* как единое, неразрывное, мировое время. Для интеллекта характерна объективация его восприятия и мышления, которая на логическом уровне выражается в *исключении наблюдателя* из образных, логических схем. В категориальных схемах наблюдатель исключается из картины мира; такая схема парадоксальна, она в дальнейшем подвергается модификации: простая схема дополняется второй "пирамидой", которая призвана разрешить онтологический парадокс. Парадокс неразрешим, возможна только подмена парадокса парадоксом. В теософских схемах предлагается понятие бога или всемирного разума/сознания. Такие понятия - проекция интеллекта исследователя или его сознания на создаваемую им картину мира. В материалистических категориальных схемах

используются понятия время, всемирное развитие, движение. Время становится категорией, представляется всеобщим. Весь мир рассматривается в становлении, движении, развитии. Категориальное время - понятийное наименование проекции единого потока сознания интеллекта на единую схему. Когда говорят об "отражении" в рамках диалектического материализма, "первоначально" исключённый из метафизической схемы мыслящий интеллект (наблюдатель) затем описывается "отражающим" некую "объективную реальность", - так выстраивается дополнительная конструкция. Это - заплатка, прикрывающая парадокс схемы.

Если представления и о мировом времени, и о боге являются проекцией интеллекта или его части на картину мира, то можно предположить, что они в мировоззренческих схемах могут быть тождественны. Действительно, известны религиозные схемы, в которых время объявляется богом, а В.И. Ленин заметил: "Время без временных вещей = Бог" [14].

В свете метасистематики и материализм, и идеализм, и теология представляются в равной степени метафизическими воззрениями. Классификация материализм/идеализм не более чем одна из схем в философии. Логически делить вселенную на материю и сознание, а тем более ставить вопрос "что первично", это и есть категориальная, простая, неадекватная схема. Такой же неконструктивной идеей является деление мира на реальный мир и воображаемый, материальный и духовный, и т.п. Рассматривая именно системы, корректно говорить об их метасистемных свойствах, о том, как можно описать любую систему: интеллектуальную, материальную, живую, природную, рукотворную и т.д. Конструктивность такого подхода ещё и в том, что строго "отсортировать" по классам одни от других, ориентируясь на исключаяющее классифицирование, практически невозможно.

Системы представляют собой пересечение (системный параллелизм) различных уровней различных системных иерархий (параллельных систем). Структуры образуют структурные иерархии. Субстанции более высокого уровня иерархии воплощаются в системы низшего уровня. Восприятие относительно и определяется позицией наблюдения: то, что интеллект воспринимает как объект, является предельной нижней границей его восприятия субстанциальных иерархий. Объект - относительное системное воплощение, т.е. наблюдаемое субстанциальное воплощение [15].

Вместо метафизической дихотомии субъект/объект на первый план необходимо вывести метасистемную дихотомию система/объект (субстанция/объект).

Методически из моделей структурных иерархий наблюдатель может быть исключён без объективации и это не ведёт к парадоксу; модели же субстанциальных иерархий должны указывать на логическое исключение позиции наблюдения во избежания парадоксов и ошибок. Исследователь/интеллект не является элементом структуры, которую он рассматривает. Каждый элемент структуры должен *соответствовать* этой структуре. Поэтому структурную иерархию справедливо назвать также *иерархией соответствия*. Если же исследуется системная иерархия, то системы в такой иерархии соответствуют субстанциальным атрибутам: это - иерархия параструктур. В ней системы могут быть в какой-то степени сходны либо полностью подобны, т.е. тождественны, и в этом случае они воспринимаются как объекты, экземпляры одной системы, её реализация. Субстанциальную иерархию справедливо назвать *иерархией подобия*. В это иерархии присутствует наблюдатель, и его неявное исключение ведёт к парадоксу.

Элементы структур должны иметь *сходство* модульных и элементных параструктур, которое и определяет их *соответствие*. Поэтому структурные и субстанциальные иерархии - иерархии разных уровней и позиций относительного восприятия, между ними нет чёткой грани: *метасистемная граница размыта*. В метасистематике проблема "стрелы времени" обращается в пустую задачу. Понятие стрела времени замещается понятием *стрела моделирования*: аксиома об ориентации исследования от параструктуры к структуре и "суммы очевидного".

6. "Динамическое" мышление

Н. Винер считал, что информация не исчезает и не появляется. В современной науке эта светлая мысль заняла место почётного, но неактуального, исторического экспоната. Все научные модели строятся как динамические, а информация не мыслится вне процесса передачи информации. Ценностная ориентация исключительно на модели динамических систем объяснима определённой особенностью человеческого мышления - "динамическим" мышлением (квазидинамическим мышлением), и эта же особенность способствует негласному принятию метафизического ядра как основания любого мировоззрения.

Для мышления современного человека *характерен* параллелизм вербально-логических и идеомоторных форм моделирования, наименования и трансляции, и "динамическое" мышление: создание динамических моделей, описание динамических процессов. Как описание динамических процессов даётся и описание систем, к которым понятие время не применимо, например геометрических:

"*Конической поверхностью* называется поверхность, образуемая движением прямой (AB на фиг. ...), проходящей всё время через неподвижную точку (S) и пересекающей данную линию (MN)" [16].

В рамках неявных, но общепринятых стереотипов создание научной объяснительной модели понимается как описание динамического парадокса, и на это направлены все усилия мыслителей. Критерием успеха считается *только и только* разработка динамической схемы (единой и непротиворечивой, раскрывающей причинно-следственные связи и т.п.). Но ценностная ориентация исключительно на динамическое моделирование стала тормозом в решении многих научных проблем и квазипроблем, в создании адекватных и конструктивных объяснительных моделей. В т.ч. при объяснении скачков эволюции, природы генома и наблюдаемого эмбрионального онтогенеза, природы вирусов-оборотней, в эвристике, в реализации автономных, живых (самопрограммирующихся) компьютерных программ и искусственного интеллекта (ИИ). Возникает парадоксальная проблема стрелы времени. Эта проблема "успешно" решается (например, в синергетике), но... остаётся.

7. Сумма очевидного

Можно утверждать, что существуют как системы во времени, так и системы, к которым понятие время не применимо (например, геометрические системы и объекты). Также существуют и внепространственные системы (описываемые квазипространственными метафорами). Только отдельные системы, а не каждая система во вселенной, могут быть временными (темпоральными), пространственными, разумными, живыми и т.д.

Начавшаяся с работ А.А. Богданова и Л. фон Берталанфи, общая теория систем (ОТС) после появления кибернетики, которая является теорией динамических систем, стала считаться её концептуальной основой. Все естественные науки, кроме математики [17] рассматривают только динамические системы; в

механике статическая система - система с нулевыми скоростями или рассматриваемая в течение малого промежутка времени.

Можно обнаружить, что в ОТС рассматривают динамические или целостные системы, а *время* в ОТС - категория. А.И. Уемов абстрагируется от временных систем, математизируя концепцию, но *при этом*, категориально объединяясь с диалектическим материализмом, рассматривает только целостные системы. Корректно ли в таком случае определение "общая теория"? Решение дилеммы простота/сложность объявлено перспективной целью ОТС. В рамках ОТС эта дилемма никогда не будет решена; ОТС имеет парадигмальное ограничение: табу неявного метафизического ядра.

Если "суммировать" все системы во вселенной, то какой "получится" сама вселенная: временной ли структурой, разумной или неразумной, и т.д.? При метафизическом моделировании картины мира ожидают, что "сумма" простых моделей окажется тождественной простой категориальной схеме мира и *при этом* адекватной самому миру. Так как для человека характерно квазидинамическое мышление, а частные научные модели - динамические описания, их "сумма" оказывается моделью "развивающейся вселенной". Напротив, простой вывод, который даёт метасистематика, может быть озвучен так: *Вселенная - нетемпоральная структура.*

Основная идея, положенная в основу метасистематики и метасистемного анализа (метаанализа), может быть сформулирована так: *никакая иерархия не может быть всеобщей.* Эта формулировка в сущности выражает идею свободы.

Это утверждение справедливо и в отношении структурных, и в отношении системных иерархий. Оно объясняет парадоксальность диалектического материализма, который рассматривает весь мир в диалектике, развитии, то есть в рамках всеобщей временной иерархии. Оно также объясняет парадоксальность вопроса о "начале" и "конце" мира. Оно же объясняет парадоксальность представлений о боге, подобному каждой системе во вселенной, воплощённому в каждую вещь: системная иерархия не может быть всеобщей, и хотя её вершину венчает бог, неизбежно появляется дополнительное понятие - дьявол. Метафизическая догматика не допускает системы вне времени или пространства, и поэтому используются понятия вечного и бесконечного как заплатки для парадоксов. Вечное как будто связано с понятием время, но не имеет

ни начала, ни конца: время как будто бы есть, но его как будто бы и нет.

Простые модели наглядны, очевидны, умозрательно охватываются одним взором. Из истории научной мысли известен кошмар механического детерминизма, когда научная мысль попала в тупик, пытаясь "суммированием" простых схем получить модель адекватную вселенной. Простые схемы не складываются в единую, целостную и при этом сложную схему: любая схема/интеллектуальная модель - проста. Полученный "итог" можно условно назвать *усложнённой* простой схемой, но не сложной. Сложное - то, что не едино и не целостно, в сложном - целое не целостно, сложная система - система не иерархическая. Всё ещё господствующее в культуре мировоззренческое метафизическое ядро определяет то, что в науке, как безусловная истина, принята ценностная ориентация на внутреннее единство, непротиворечивость, целостность научных моделей и всего познания в целом [18], но возникают парадоксы построения картины мира. Вселенная - сверхсложна, не целостна и не едина, и представление о параллельных мирах - более конструктивно, чем о "всеобщей связи" (Одно из положений Ф. Энгельса. Сходная идея положена в основу астрологии: "длинная цепочка" - связь между положениями звёзд и земными событиями.)

Научные теории, удовлетворяющие критериям целостности и непротиворечивости, - простые, т.е. иерархические системы. Адекватное моделирование сложных систем, сложного мира осуществляется не в рамках единой, целостной теории, а путём сосуществования разных, противоречивых или несовместимых теорий, второй путь - неабсолютная целостность любой теории, независимо от ориентации автора на целостность, о чём свидетельствует наличие в любой теории парадоксов и "аномалий" [19].

8. Целостная личность

Теософские представления о божестве сформировались как результат проекции сознания на картину мира. Сейчас господствующее положение занимают религии, основанные на вере в одного бога, единобожие. Время современный человек психологически ощущает как единое и однонаправленное. Интеллектуальная организация усреднённого современного человека может быть охарактеризована как целостность личности с

единым сознанием. Но известны случаи множественности личности, раздвоения сознания и т.д. Интеллект не может "осознать сознание". *Позиция наблюдения не наблюдаема*; все интеллектуальные модели объективированы: из них исключена позиция восприятия. Исторически целостная личность сложилась не сразу. Единобожие предшествовало многобожие и промежуточный этап, когда среди многих богов выделялось верховное божество (Древний Египет).

9. Метафизическая субтракция: Вселенная минус Время

Психологическое ощущение "одномерного однонаправленного" времени можно описать как целостность личности, как самоощущение личностью себя структурой, субстанцией, объектом. А как такой интеллект, ощущающий себя как единое целое, воспринимает иные системы и объекты сверхсложной вселенной?

Условно выполнив логическую *операцию* вычитания *времени* из *картины мира* можно получить метафизический остаток: *пространство*. Нужно заметить, что метафизическое понятие *пространство* гораздо шире понятия физического. Можно одинаково легко говорить как о "площадах сельскохозяйственных угодий" и "объёме жидкости в сосуде", так и о "пространстве задач", "аномальных зонах науки" и "объёмах выполненных работ". Поскольку метафизическое пространство включает в себя *всё* за минусом категориального *времени*, само понятие пространство является наиболее общей метафорой, а все остальные понятия - нисходящие от него квазипространственные метафоры, т.к. метафизика подразумевает их *исключающее классифицирование*.

В науке невозможно обойтись без метафор [20]. Феномен квазипространственных метафор легко обнаружить в рассуждениях философов-метафизиков и психологов. Например, работы З. Фрейда изобилуют яркими образными смещениями пространственных понятий. Этот феномен ярко выражен в рассуждениях А. Бергсона о "непроницаемости пространства" [21]. В книге Норберта Винера "Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине" провести различие между "собственно" пространственными и квазипространственными описаниями настолько трудно, что издание его книги [22], сопровождается пространственным комментарием по этому поводу. Автор комментария, по-видимому, не понимая глубину этого феномена и поэтому, как

будто оправдываясь, объясняет, что книга Н. Винера содержит (по его мнению) много неточностей и ошибок, т.к. написана в спешке и при неблагоприятных обстоятельствах.

Квазипространственные метафоры в логической структуре мышления соседствует с феноменом *квазипространственной реализации времени*. Интеллект мыслит простыми "динамическими" (квазидинамическими) описаниями. Каждая простая модель является квазипространственной синтаксической системой, из которой исключено психологическое время, как позиция наблюдателя, и заменено квазипространственной метафорой времени. Психологическое время вытесняется из квазипространственной схемы неявно, раслаиваясь в синтаксис глагольных форм, что справедливо и для невербальных моделей.

Квазипространственная реализация времени и его расслоение в усложнённых схемах присутствует во всех интеллектуальных моделях. Например, учащийся рисует оси координат, одну из которых он обозначает как "расстояние", а другую "время", и рисует в этих координатах график перемещения физического тела. А что такое пространственно-временной континуум? Этот сложносоставной термин - также квазипространственная метафора.

10. Неопределённость и иерархии

А) Неопределённость присутствует в любых исследованиях: инструментарий исследователя вносит возмущения в процесс исследования, появляются погрешности, внесённые в процесс исследования самим инструментом или методологией исследования, сам объект изменяется в процессе исследования и становится уже "не тем же самым" объектом. Неопределённость свидетельствует о том, что исследуется параструктура субстанции, а не структура. Так как при углублении в параструктуру влияние неопределённости увеличивается, то число уровней, на которое можно спуститься ограничено.

Что моделируют физические теории, структуру или параструктуру? Электрон может состоять из кварков, кварки - из ещё более мелких частиц. А может ли такое исследование бесконечно "спускаться вниз"?

Можно найти аналогию между моделями физики и психологическими схемами. Например, рассмотреть схемы личности. В транзакционном анализе [23] личность человека представляется, как состоящая из элементов: "ребёнок", "взрослый",

"родитель". Эти элементы являются компонентами *параструктуры* интеллекта, что совершенно очевидно, т.к. речь идёт о ролевом поведении человека, и эти компоненты имеют подобие со всей личностью как целым (об этом красноречиво свидетельствует сама терминология). Подобие указывает на субстанциальную иерархию, а не на структуру. В транзакционном анализе в схеме есть 2-й иерархический уровень (составляющие типа "ребёнок родителя"). Здравый смысл подсказывает, что эта схема может иметь 2-3 уровня и не более: дальнейшее "углубление" бессмысленно, а терминология звучала бы абсурдно. На это обращает внимание сам автор. [24]

А теперь задумаемся, что же моделируют физические теории, структуру или параструктуру? Характерный эпизод: на определённом этапе изучения микромира возникло предположение, что микрочастицы наделены разумом. Позднее появилось направление в физике, названное психофизикой.

Неопределённость появляется при исследовании параструктур, при "углублении" в иерархию подобия: от параструктуры к структуре. Такое *пранормальное исследование* проходит у *метасистемного барьера* (структуры исследуемых субстанций уходят из поля зрения, но исследователь может продолжать считать, что для исследования доступно всё). Напротив, *нормальное исследование* ориентировано от параструктуры к структуре.

Б) "Наивный" вопрос в рамках "динамического" мышления: каким образом геном "знает" как создавать организм? Может быть в нём зашифрован некий план будущей структуры? Предварительный метаанализ даёт "неожиданный" ответ: в генах не закодирован никакой план, генный аппарат - не демиург процесса генезиса (Ср. с идеями академика Т. Лысенко). Он не имеет ни *сходства*, ни *подобия* с вырастающим организмом, но должен ему *соответствовать*. При изучении ДНК исследуются структуры, а не системная иерархия. Но, быть может, изменение методологии в будущем всё же опровергнет этот вывод, позволит определить неявное сходство набора нуклеотидов с обликом индивида?

11. Метасистемный барьер трансляции

Алгоритм может быть замкнутым, циклическим. При создании современной алгоритмической программы, в циклическом алгоритме должен быть предусмотрен *алгоритмический выход* из его цикла, точка выхода. Если алгоритм введён в память компьютера, то

при определённых *условиях* он должен быть исполнен, - современная технология предполагает только это. Ошибочные циклические алгоритмы без точки выхода ведут к ситуации, из которой сам компьютер уже не выйдет. Если сравнить компьютер с человеком, обнаруживается различие: человека не программируют, а обучают. Человек использует в течение своей жизни множество правил, процедурных инструкций, методик и т.п. Многие из этих правил - алгоритмические: они являются описанием последовательных операций. Его "алгоритмы" существенно отличаются от машинных кодов, и также существенно отличается способ трансляции описаний в "исполняемые коды". Каждый человек интерпретирует исходный текст в некий другой, промежуточный, личный код. В связи с широкой интерпретируемостью описаний и инструкций, которыми оперирует человеческий интеллект, они могут рассматриваться как *квазиалгоритмические описания*, они в большей или меньшей степени трансформируются до исполнения, а во многих случаях не исполняются вовсе. Описания транслируются в простые "очевидные" образы. Транслированные образы тесно связаны с идеомоторикой, каждый такой образ - идеомоторное представление. Однако не всякое описание может быть транслировано. Позиция наблюдения - непреодолимый метасистемный барьер, поэтому инструкция, требующая наблюдения позиции наблюдения, невыполнима, но попытка интерпретации может многократно повторяться: получается своего рода "короткое замыкание", "короткозамкнутый контур".

Интеллект не может наглядно представить многие вещи: бесконечность; собственную смерть, как интроспективный образ исчезновения собственного осознания; своё собственное необъективированное Я (Я-Позицию); он не может "осознать сознание".

Человек может увидеть себя только со стороны, в своём воображении или в зеркале. Зеркало всегда было источником суеверий и художественным символом, как, например, "Зеркало" Тарковского и "зазеркалье" Л. Кэррола. А как Льюис Кэррол, который имел церковный сан, понимал слова бога по имени Сущий: "... человек не может увидеть Меня и остаться жив" [25]? Разум человека не "зависает" (не считая патологические случаи), т.к. имеет иные, чем компьютерная программа, неалгоритмические точки выхода из цикла. Такие выходы из жёстких циклов могут приводить к насилию. Циклы могут иметь затяжной характер религиозного экстаза.

12. Интроспективный искусственный интеллект

Искусственный интеллект (ИИ) может иметь воплощение в таких формах, которые человеку даже отдалённо не будут напоминать нечто разумное или живое. Но среди многообразия форм воплощения, возможны и такие, которые будут максимально копировать физическое и интеллектуальное воплощение человека.

Н. Винер выдвинул гипотезу, что циклические алгоритмы с большим числом циклов могут быть своего рода динамическими ячейками кратковременной памяти. Действительно, такой алгоритм, обрабатывая многократно и без изменений в теле своего цикла какую-либо информацию, может вернуть её через некоторый промежуток времени. Винер предположил, что такой механизм, возможно, используется интеллектом человека, и существование такого алгоритма-ячейки в течение очень малого промежутка времени психологически может определить *ощущение* момента настоящего.

Более достоверным представляется, что циклические алгоритмы - своего рода пограничные столбы на метасистемной границе между механизмами мышления и интеллектуальными моделями. Они действительно определяют ощущение момента настоящего, но этот момент вовсе не является ни точкой, ни малым промежутком времени. Этот момент - факт реализации Я-Позиции в образ объективированного Я, вневременное скольжение позиции восприятия. Психологически такое скольжение ощущает любой человек в очень многообразных формах, часто оно проявляется в циклах. Они могут быть жёсткими: страх перед смертью, например; но есть и мягкие: дежавю, аутоидентификация, интроспективный взгляд, озарение, запоминание и воспоминание, и др. Ассоциативное мышление всегда возможно только при изменении позиции наблюдения, оно проявляется как динамика структурного копирования образов, и копирование образов исключает позицию восприятия. Таким образом, циклы - не ячейки памяти, как считал Н. Винер, а механизм ассоциативного мышления. Организация памяти у человека не является простой системой, - нельзя извлечь или запомнить данные "по адресу", как в памяти компьютера. Процесс хранения информации, вспоминания и запоминания неоднозначен и осуществляется через механизмы ассоциативного мышления, сознания. Видимо это, ясно не понятое им отношение

циклов к памяти, и послужило основой мнения Н.Винера. Воплощение квазиалгоритмов в идеомоторные образы проявляется в том, что называют представлением, воображением, логическим мышлением, и такая реализация всегда интроспективна, определяется скольжением позиции восприятия, логическим исключением наблюдателя и замещением его объективированными образами.

Фрейд предшествовало парадоксальное утверждение: душа может что-либо присвоить, только утратив это; овладение объектом связано с потерей его. Идея принимается и развивается З.Фрейдом. Он вводит понятие "вытеснение". Но он не раскрывает его природу, которую называет поэтому демонической. Он не объясняет, почему психическая жизнь организована именно *так*, а не как-либо иначе. Понятие исключение наблюдателя и положение о *ненаблюдаемости позиции наблюдения (восприятия)* является метасистемной объяснительной моделью этого феномена. *Скольжение* - не демон, а Я-Позиция – это сущий "бог" живой души.

Н.М. Амосов описал многие механизмы разума, но эти механизмы есть и у животных. Интроспекция свойственна только человеку, что объясняет феномены, свойственные ему: страх смерти, смех и др. В модели Н.М. Амосова отсутствует моделирование интроспекции, поэтому практически ИИ уровня человека по такой схеме не реализуем. Для реализации ИИ, подобного интеллекту человека, необходимо моделировать метасистемное *скольжение*: создать ИИИ, - интроспективный искусственный интеллект.

Литература

1. Амосов Н.М. Алгоритмы разума, Киев, Наукова думка, 1972.
2. Г.С. Альтшуллер рассматривает объяснительные модели как продукт творчества и предлагает эвристические методы разработки научных моделей. См. Злотин Б.Л., Зусман А.В. Решение изобретательских задач. Кишинёв, Картя Молдавеняскэ: в ч. I. ТРИЗ и наука.
3. Амосов Н.М. Там же.
4. Амосов Н.М. Там же.
5. Винер Н. Я – математик. М., Наука, 1967.
6. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М., Наука, 1983.
7. Бергсон А. Собр. Соч. в 4 т., Моск. клуб, 1992: в ч. I Опыт о непосредственных данных сознания. Материя и память.
8. Гусев С.С. Наука и метафора. Л., И.Л.У., 1984.

9. Шишов Г. Высокоорганизованная пустота. Витамакс / январь 1998.
10. Гусев С.С. Наука и метафора. Л., И.Л.У., 1984, С. 33.
11. Кун Т. Структура научных революций. М., Прогресс, 1975.
12. Кун. Т., там же.
13. Жерарден Л. Бионика. М., Мир, 1971.
14. Ленин В.И. Материализм и эмпириокритицизм.
15. Ср. с иллюзией неведения у Е.М. Блаватской.
16. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике.
17. Математика исследует *только* параструктуры, а результат исследования используется как инструментарий др. исследований. С. Лем в кн. "Сумма технологий" именуется математику безумным портным, ср. с Безумным Шляпником у Л. Кэрролла.
18. Гусев С.С. Наука и метафора. Л., И.Л.У., 1984.
19. Кун Т. Там же.
20. Гусев С.С. Там же.
21. Бергсон А. Там же.
22. Винер Н. Там же.
23. Берн Э. Игры в которые играют люди, Л., Лениздат, 1992.
24. Берн Э. Там же .
25. Исход. 33:20.

Хмельник С.И.

Электрические цепи с бинарными потенциалами

Аннотация

Рассматриваются электрические цепи с линейными элементами и диодами, не содержащие транзисторов. Все потенциалы в этих цепях принимают только два значения. Анализируются требования, которым должны удовлетворять такие цепи. Устанавливается соответствие между такими цепями и схемами, построенными из дискретных элементов. В качестве дискретных схем такие цепи являются обратимыми в том смысле, что их выводы могут использоваться либо как входы, либо как выходы. При передаче сигналов через такую дискретную схему в одном (прямом) направлении вычисляется некоторая (прямая) функция алгебры логики. При передаче сигналов в другом (обратном) направлении вычисляется функция алгебры логики, которая является обратной относительно прямой функции. Указываются возможные области применения.

Оглавление

1. Введение
2. Аналоговые логические элементы
3. Электрическая цепь с трансформаторами Денниса
4. Электрическая цепь с аналоговыми логическими элементами
5. Прямое включение
6. Обратное включение
7. Таблица истинности
8. Пример
9. Заключение
10. Литература

1. Введение

Логические элементы, используемые в вычислительной технике, являются нелинейными и активными. В статье рассматриваются схемы, которые не содержат транзисторов, а содержат только линейные элементы и диоды. Эти схемы подобны в определенном смысле логическим элементам AND, OR, NOT. Подобие заключается в том, что существуют такие потенциалы на входах и выходах этих схем, которые удовлетворяют функциям AND, OR, NOT алгебры логики. Кроме того, потенциалы и токи в указанных схемах удовлетворяют законам Кирхгофа. Поэтому они в общем случае могут и не удовлетворять функциям алгебры логики. В этом заключается различие между логическими элементами и указанными схемами, которые далее называются *аналоговыми логическими элементами* AND, OR, NOT или, сокращенно, элементами **AnAND, AnOR, AnNOT**.

Рассматривается определенная электрическая цепь, составленная из элементов AnAND, AnOR, AnNOT. Эта цепь далее называется аналого-дискретной **схемой АД**. Схема АД при определенных условиях ведет себя подобно обычным цифровым схемам. Принципиальное отличие заключается в следующем.

Схема АД имеет две группы выводов, x и y . Они могут использоваться либо как входы, либо как выходы схемы АД. Показывается, что при одном способе включения схема АД выполняет преобразование (назовем его *прямым*) входа x в выход y в соответствии с некоторой системой уравнений алгебры логики – вычисляет ДНФ. При другом способе включения схема АД выполняет преобразование входа y в выход x , *обратное прямому*, т.е. решает задачу, обратную вычислению ДНФ.

Отмечается аналогия между схемой АД и обычным преобразователем, реализующим некоторую ДНФ. При замене в схеме АД элементов AnAND, AnOR, AnNOT элементами AND, OR, NOT и исключении некоторых дополнительных элементов она превращается в указанный преобразователь. Отличие заключается в том, что преобразователь вычисляет ДНФ, а схема АД вычисляет как ДНФ, так и **обратную ДНФ**.

Известно, что электрическая цепь, содержащая линейные элементы и диоды, минимизирует некоторую функцию токов этой цепи при ограничениях, каковыми являются первый закон Кирхгофа и конструктивные уравнения элементов этой цепи.

Минимизируемая функция является положительно полуопределенной квадратичной формой, а ограничения линейны. В связи с этим можно говорить, что электрическая цепь решает задачу квадратичного программирования. Математически этот факт является следствием второго закона Кирхгофа и перечисленных ограничений (можно утверждать и обратное). Предлагаемые схемы относятся к этому же типу электрических цепей и потому они также решают некоторую задачу квадратичного программирования, что происходит одновременно с тем дискретным вычислением, для которого спроектирована схема. Представляется, что этот факт может быть использован для конструирования дискретных схем, решающих задачу математического программирования на аппаратном уровне.

2. Аналоговые логические элементы

Описываемые ниже электрические цепи содержат источники напряжения, резисторы, диоды и трансформаторы постоянного тока. Все эти элементы рассмотрены Деннисом [1] в аналогичном контексте и мы будем пользоваться его формулировками при описании характеристик этих элементов.

Перечисленные элементы используются далее в определенных комбинациях, которые мы будем называть *аналоговыми логическими элементами* *AND*, *OR*, *NOT* или, сокращенно, элементами **AnAND**, **AnOR**, **AnNOT**. Используемые в них диоды удовлетворяют условиям

$$e_d \geq 0, \quad (1)$$

$$i_d \geq 0, \quad (2)$$

$$e_d i_d = 0, \quad (3)$$

где

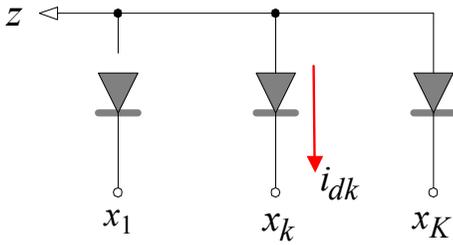
i_d - токи, протекающие через диоды,

e_d - напряжения на диодах.

Схема AnAND изображена на фиг. 2.1, где x_k , y – потенциалы. В этой схеме

$$e_{dk} = x_k - z, \quad (4)$$

$$z \leq \min_k x_k. \quad (5)$$

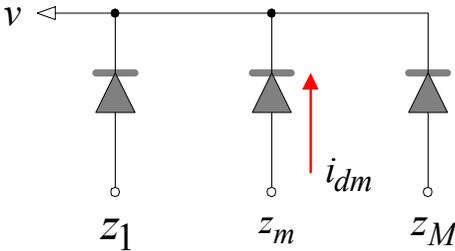


Фиг. 2.1.

Схема AnOR изображена на фиг. 2.2. где z_m, v – потенциалы. В этой схеме

$$e_{dm} = v - z_m \tag{6}$$

$$v \geq \max_m z_m. \tag{7}$$



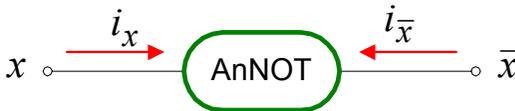
Фиг. 2.2.

Схемы AnAND и AnOR очевидны. Новой является схема AnNOT. Она изображена на фиг. 2.3, где

x, \bar{x} - потенциалы,

u - э.д.с. источника постоянного тока,

$i, i_x, i_{\bar{x}}$ - токи.



Фиг. 2.3.

Для этой схемы справедливы следующие соотношения:

$$x + \bar{x} = u, \tag{8}$$

$$i = i_x = i_{\bar{x}}. \tag{9}$$

Рассмотрим реализацию элемента AnNOT. Но перед этим опишем так называемые трансформаторы постоянного тока [1], которые мы далее будем называть трансформаторами Денниса – ТД. На фиг. 2.4 ТД изображен условно. Он содержит две ветви – первичную с током i_1 и напряжением e_1 и вторичную с током i_2 и напряжением e_2 . ТД описываются уравнениями

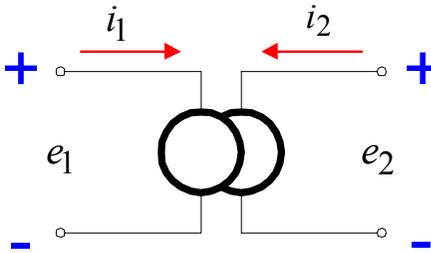
$$i_1 + hi_2 = 0 \tag{10}$$

$$e_2 - he_1 = 0 \tag{11}$$

где h – коэффициент трансформации. Из этих уравнений следует, что

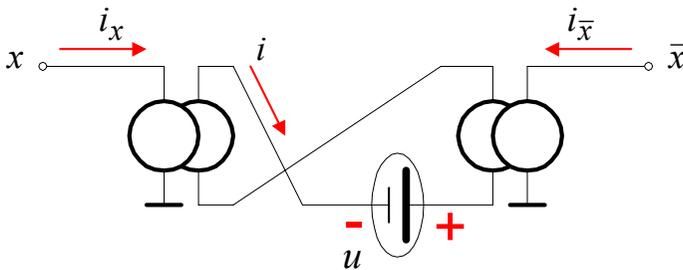
$$e_1 i_1 = -e_2 i_2 \tag{12}$$

т.е. мощности, отдаваемые первичной и вторичной ветвями ТД в электрическую цепь, в сумме равны нулю. Деннис предложил ТД в виде умозрительной конструкции для интерпретации математической теории. Однако можно предложить и реальные схемы ТД на оптронах [2] или на интеграторах [3].



Фиг. 2.4.

Схема AnNOT на ТД с единичным коэффициентом трансформации представлена на фиг. 2.5. Можно предложить и другие схемы AnNOT на интеграторах [4, 5].



Фиг. 2.5.

3. Электрическая цепь с ТД

Рассмотрим электрическую цепь, которая содержит ТД с единичным коэффициентом трансформации, диоды, резисторы и источники напряжения. Деннис [1] показал, что в такой электрической цепи минимизируется функция

$$F(I) = \frac{1}{2} \cdot I^T \cdot R \cdot I - E^T \cdot I. \quad (1)$$

при ограничениях

$$N \cdot I = 0, \quad (2)$$

$$i_1 + i_2 = 0 \quad (3)$$

$$i_d \geq 0 \quad (4)$$

где

I - вектор токов в ветвях цепи;

i_1 - вектор токов в первичных ветвях ТД (часть вектора I);

i_2 - вектор токов во вторичных ветвях ТД (часть вектора I);

i_d - вектор токов в диодах (часть вектора I);

E - вектор напряжений в ветвях цепи;

N - матрица инцидентий с элементами 1, 0, -1;

R - диагональная матрица сопротивлений в ветвях цепи.

В этой системе уравнение (2) описывает первый закон Кирхгофа, уравнение (3) идентично уравнению (2.10), а уравнение (4) идентично уравнению (2.4). Функция (1) имеет глобальный *минимум*. Необходимые условия минимума этой функции имеют вид уравнений

$$N^T \cdot \varphi + R \cdot I - E = 0, \quad (5)$$

$$e_2 - e_1 = 0 \quad (6)$$

$$e_d \geq 0 \quad (7)$$

$$i_d \cdot e_d = 0. \quad (8)$$

где

φ - вектор узловых потенциалов;

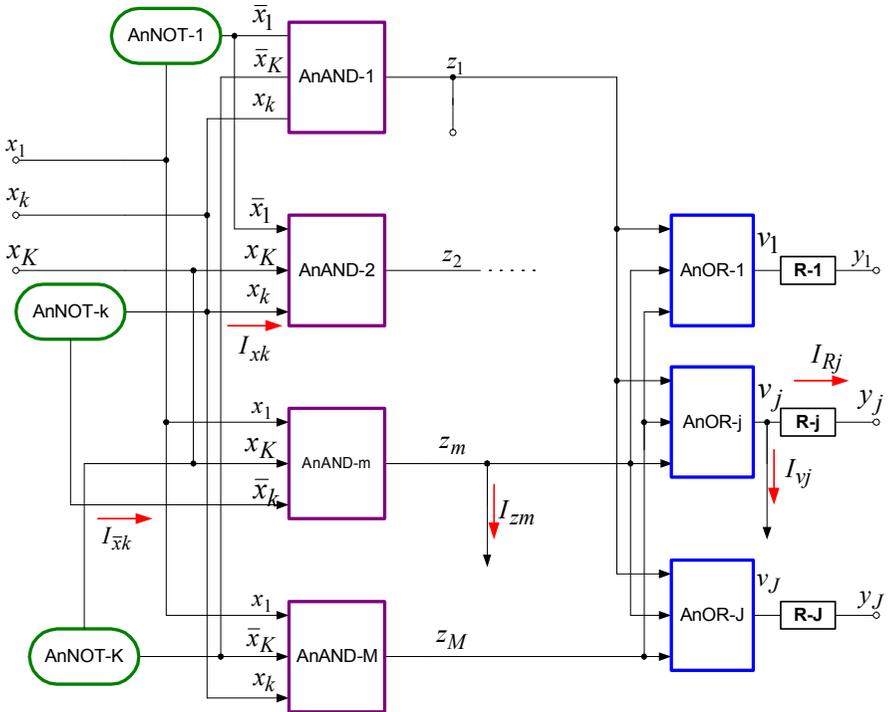
e_1 - вектор напряжений на первичных ветвях ТД;

e_2 - вектор напряжений на вторичных ветвях ТД;

e_d - вектор напряжений на диодах.

В этой системе уравнение (5) описывает второй закон Кирхгофа, уравнение (6) идентично уравнению (2.11), а уравнения (7) и (8) идентичны уравнениям (2.1) и (2.3) соответственно. Новые переменные являются неопределенными множителями Лагранжа для условий (2), (3), (4). Итак, расчет рассматриваемой электрической цепи эквивалентен поиску минимума функции (1) при ограничении (2-4). Другими словами эта электрическая цепь моделирует задачу квадратичного программирования. У этой задачи имеются *единственное решение*.

4. Электрическая цепь с аналоговыми логическими элементами - схема АД



Фиг. 3.1.

Рассмотрим теперь электрическую цепь, построенную из элементов ТД с единичным коэффициентом трансформации, AnAND, AnOR, AnNOT, резисторов и источников напряжения. Имея в виду, что элементы AnAND, AnOR, AnNOT, в свою

очередь, содержат ТД с единичным коэффициентом трансформации, диоды, резисторы и источники напряжения, замечаем, что эта электрическая цепь содержит только ТД с единичным коэффициентом. Таким образом, эта цепь является частным случаем рассмотренной выше. В дальнейшем будет именоваться **схемой АД**. Она изображена на фиг 3.1, где

R - сопротивления,

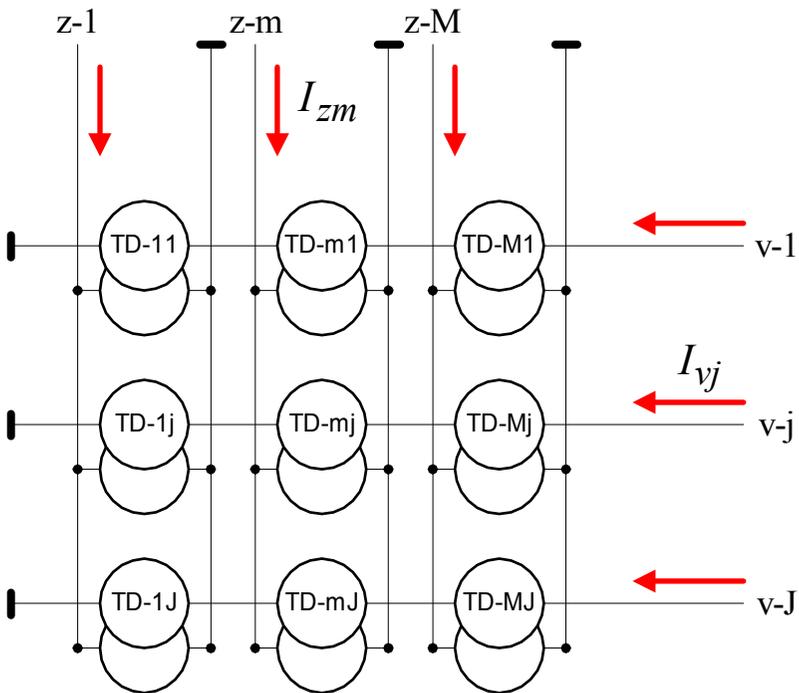
x, \bar{x}, y, z, v - точки схемы и их потенциалы.

Точки x и y составляют два множества выводов схемы АД. Между точками z и v в схеме АД включена матрица трансформаторов ТД, изображенная на фиг 3.2. Из этой схемы следует, что

$$G^T z - v = 0, \tag{1}$$

$$G i_v + i_z = 0, \tag{2}$$

где i_v, i_z - векторы токов.



Фиг. 3.2.

В схеме АД каждый элемент $AnAND-m$ соединен своими входами с одним из выходов некоторого подмножества элементов $AnNOT-k$, а каждый элемент $AnOR-j$ соединен своими входами с выходами некоторого подмножества элементов $AnAND-m$.

Обозначим:

$B = \{b_{mk}\}$ - матрица связей элементов $AnAND-m$ и $AnNOT-k$,

$G = \{g_{mj}\}$ - матрица связей элементов $AnAND-m$ и $AnOR-j$,

причем

$b_{mk} = \left\{ \begin{array}{l} \end{array} \right.$	1, если выход x_k соединен с $AnAND-m$,
	0, если выход \bar{x}_k соединен с $AnAND-m$,
	-1, если $AnNOT-k$ не соединен с $AnAND-m$,

$g_{mj} = \left\{ \begin{array}{l} \end{array} \right.$	1, если $AnAND-m$ соединен с $AnOR-j$,
	0, если $AnAND-m$ не соединен с $AnOR-j$.

Таким образом, матрица B имеет M строк и K столбцов и в ней каждая m -строка соответствует элементу $AnAND-m$, а каждый k -столбец соответствует элементу $AnNOT-k$. Матрица G имеет M строк и J столбцов и в ней каждая m -строка соответствует элементу $AnAND-m$, а каждый j -столбец соответствует элементу $AnOR-j$. В матрице трансформаторов ТД на фиг. 3.2 $TD-mj$ присутствует, если $g_{mj}=1$, и отсутствует, если $g_{mj}=0$.

Выводы x и y могут использоваться либо как входы, либо как выходы схемы АД. Другими словами, либо к этим выводам может быть подключен источник напряжения и тогда через них проходит ток, либо выводы «висят в воздухе» и тогда ток через них не проходит.

Из вышеизложенного следует, что в схеме АД минимизируется функция

$$F = \frac{1}{2} I_R^T \cdot R \cdot I_R - Y^T \cdot I_R - X^T \cdot I_x - \bar{X}^T \cdot I_{\bar{x}} - U^T \cdot I_{x\bar{x}} \quad (3)$$

при ограничениях (3.2), (3.4), (2).

В частности, если выводы x являются входами, а выводы y – выходами, то минимизируется функция

$$F = -X^T \cdot I_x - \bar{X}^T \cdot I_{\bar{x}} - U^T \cdot I_{x\bar{x}} \quad (4)$$

Если же выводы y являются входами, а выводы x – выходами, то минимизируется функция

$$F = \frac{1}{2} I_R^T \cdot R \cdot I_R - Y^T \cdot I_R - U^T \cdot I_{x\bar{x}} \quad (5)$$

Решение будем называть *булевским*, если все потенциалы v , y , x принимают одно из двух значений - 0 или u . Эти значения будем называть *бинарными*. Очевидно, без потери общности можно принять $u = 1$. Потенциалы с бинарными значениями при $u = 1$ будем также называть булевскими потенциалами.

5. Прямое включение.

Обозначим входы элементов AnAND- m как x_{mk} . При этом:

$$x_{mk} = \left\{ \begin{array}{l} x_k, \quad b_{mk} = 1, \\ \bar{x}_k, \quad b_{mk} = 0, \\ \text{does not exist, if } b_{mk} = -1. \end{array} \right\} \quad (1)$$

Пусть все элементы AnAND- m соединены со всеми элементами AnNOT- k , т.е.

$$b_{mk} \neq -1, \quad k = \overline{1, K}. \quad (2)$$

При этом

$$x_{mk} = \left\{ \begin{array}{l} x_k, \quad b_{mk} = 1, \\ \bar{x}_k, \quad b_{mk} = 0. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Тогда из (2.5) следует, что

$$z_m \leq \min_k (x_{mk}). \quad (4)$$

Из (2.7) следует, что

$$v_j \geq \max_m z_m. \quad (5)$$

При прямом включении схемы АД выводы x являются входами, а выводы y являются выходами схемы АД. Это означает, что выводы y нагружены на очень большое сопротивление и, практически,

$$I_R \cong 0, \quad Y \cong V. \quad (6)$$

Все входные потенциалы x принимают булевские значения. Пусть, кроме того, выполняется условие (2) и существует такая S -строка в матрице B , что

$$x_{Sk} = 1, \quad k = \overline{1, K}. \quad (7)$$

Это означает, что булевский вектор x совпадает с S -строкой матрицы B – см. (3).

Покажем, что в этом случае все потенциалы y также принимают булевские значения.

Из (4) следует, что

$$z_m = \begin{cases} 1, & \text{if } m = S, \\ 0, & \text{if } m \neq S. \end{cases} \quad (8)$$

Из (5) и (7) следует, что

➤ $v_j = 1$, если точка z_S (с потенциалом $z_S = 1$)

присоединена к одному из входов элемента AnOR- j ,

➤ $v_j = 0$, если точка z_S (с потенциалом $z_S = 1$) не

присоединена ни к одному из входов элемента AnOR- j .

Таким образом, все потенциалы v принимают булевские значения. Из (6) следует, что и все потенциалы y также принимают булевские значения, что и требовалось показать.

6. Обратное включение.

При обратном включении схемы АД выводы y являются входами, а выводы x являются выходами схемы АД. Все входные потенциалы y принимают булевские значения. Пусть, кроме того, существует такая S -строка в матрице G , что

$$y_j = g_{Sj}. \quad (1)$$

Это означает, что булевский вектор y совпадает с S -строкой матрицы G . Пусть еще

$$R \cong 0 \quad (2)$$

и, следовательно,

$$Y \cong V. \quad (3)$$

Существование и количество решений уравнения (4.1) относительно z определяется рангом расширенной матрицы $G_2 = [G^T | y]$. Но, по условию, булевский вектор y совпадает с S -

строкой матрицы G , т.е. совпадает с одним из столбцов матрицы G^T . Следовательно, ранг матрицы G_2 равен рангу матрицы G^T . Таким образом, существование и количество решений уравнения (4.1) определяется рангом матрицы G . Точнее,

- если ранг матрицы G равен M (числу неизвестных), то (4.1) имеет единственное решение;
- если ранг матрицы G меньше M , то (4.1) имеет несколько решений;
- ранг матрицы G не может быть больше M , т.к. матрица G^T имеет ровно столбцов.

Таким образом, решение уравнения (4.1) будет единственным, если ранг матрицы G^T равен M или ранг G матрицы равен M . Это верно, если выполняется следующее условие, которое в дальнейшем для краткости будем называть как

Первое ранговое условие:

- в матрице G^T все M столбцов линейно независимы,
- в матрице G^T есть не менее M линейно независимых строк.

Если выполняется первое ранговое условие, решение уравнения (4.1) единственно, выполняется условие (1) и для строки S не существует линейно зависимых строк, то это решение имеет вид

$$z_m = \begin{cases} 1, & \text{if } m = S, \\ 0, & \text{if } m \neq S. \end{cases} \quad (4)$$

Отсюда и из (5.4) следует, что

$$x_{Sk} = 1,$$

т.е. все потенциалы x принимают булевские значения, что и требовалось показать. Итак, для этого должно выполняться

Второе ранговое условие:

- в матрице G^T все M столбцов линейно независимы,
- в матрице G^T все строки линейно независимы.

7. Таблица истинности для схемы АД

Из вышесказанного следует, что достаточное условие существования булевского решения для обратного включения заключается в следующем:

1. матрица G удовлетворяет ранговому условию;
2. вектор y совпадает с одной из строк матрицы G ;
3. все элементы $\bigwedge_n \text{AND}$ соединены со всеми элементами $\bigwedge_n \text{NOT}$ (математически это означает, что матрица B является бинарной);
4. любое x_k в матрице B должно принимать оба значения – 0 и 1 (в любом столбце матрицы B должен присутствовать и 0, и 1).

Схему АД будем описывать таблицей, которая имеет вид $[B|G^T]$, где матрицы B и G удовлетворяют вышеперечисленным условиям.

Будем называть схему АД *булевской*, если она удовлетворяет условиям 1) и 3), а вектор y , совпадающий с одной из строк матрицы G , будем называть *правильным вектором*. **Булевская схема АД, на которую подан правильный вектор y , имеет булевское решение.**

Булевская схема АД описывается таблицей истинности, которая имеет вид $[B|G^T]$. При булевском решении

$$y_j = \bigvee_m (z_m), \quad z_m = \bigwedge_k (x_{mk})$$

или

$$y_j = \bigvee_{m k} \bigwedge (x_{mk}).$$

Последнее выражение есть дизъюнктивная нормальная форма - ДНФ. Таким образом, схема АД, удовлетворяющая указанным условиям, удовлетворяет, кроме того, системе уравнений $y = f(x)$, где каждое уравнение является ДНФ. Если задается вектор x , то вычисляется вектор y , т.е. функция, соответствующая системе ДНФ. Если же вектор y задается, а вектор x вычисляется, то **схема АД вычисляет функцию, обратную системе ДНФ – обратную ДНФ.**

Отметим явную аналогию между схемой АД и преобразователем, реализующим ДНФ. При замене в схеме АД элементов $A_n\text{AND}$, $A_n\text{OR}$, $A_n\text{NOT}$ элементами AND, OR, NOT и исключении ТД она превращается в указанный преобразователь. Отличие заключается в том, что преобразователь вычисляет ДНФ, а схема АД вычисляет как ДНФ, так и обратную ДНФ.

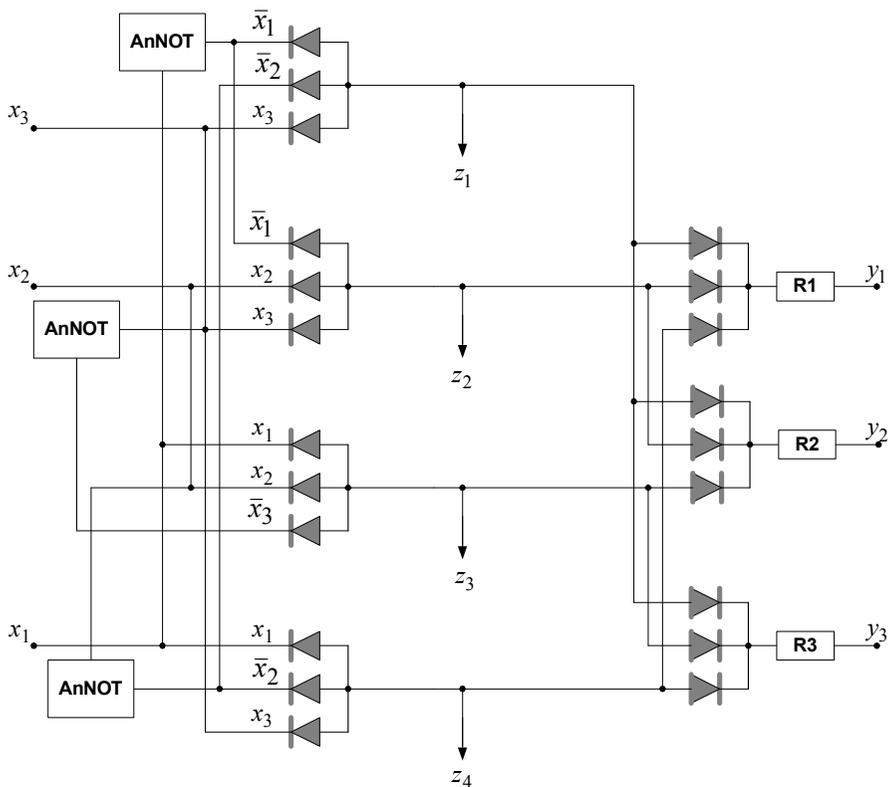
8. Пример.

Некоторая булевская схема АД приведена на фиг 8.1 и фиг.8.2. Она описывается таблицей истинности табл. 1. Эта таблица удовлетворяет условиям 1), 2), 3).

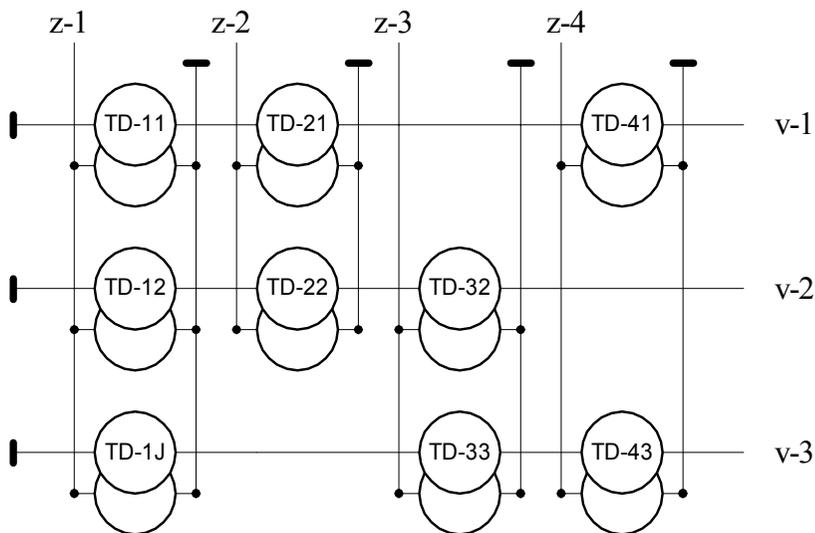
Таблица 1.

К			J		
X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	1

M {



Фиг. 8.1.



Фиг. 8.2.

9. Заключение

Предлагаемые схемы могут использоваться как обратимые преобразователи кодов [6, 7]. Другое применение - аппаратная реализация функций, для которых отсутствуют регулярные схемы алгебры логики, но существуют достаточно простые схемы вычисления функций, обратных данным. Например, существует комбинационная схема умножения, но отсутствует комбинационная схема деления. Умножитель, реализованный предложенным способом, может выполнять и умножение, и деление [8].

Показано, что электрические схемы с ТД эквивалентны электрическим схемам с интеграторами [9]. Поэтому описанные схемы могут быть также реализованы на интеграторах [3, 4, 5, 10].

Очевидна аналогия между ТД и обычными трансформаторами в цепях синусоидального тока. Можно предложить также некоторый иммитатор диода в цепях синусоидального тока. При этом описанные схемы постоянного тока могут быть реализованы как схемы синусоидального тока [11].

Литература

1. Деннис Дж. Б. Математическое программирование и электрические цепи. М.: ИЛ, 1961, 430 с.
2. Хмельник С.И., Жилейкина В.Н. Система преобразования напряжения. Авт. св. 1457117, БИ-5, 1989, Москва.
(Трансформатор Денниса на оптронах)
3. Хмельник С.И., Жилейкина В.Н. Устройство для имитации трансформатора. Авт. св. 1601616, БИ-39, 1990, Москва.
(Трансформатор Денниса на сумматорах и интеграторах)
4. Хмельник С.И. Преобразователь напряжения. Авт. св. 1448350, БИ-48, 1988, Москва. (AnNOT на интеграторах)
5. Хмельник С.И., Жилейкина В.Н. Преобразователь напряжения. Авт. св. 1591046, БИ-33, 1990, Москва. (AnNOT на сумматорах и интеграторах)
6. Хмельник С.И. Преобразователь кодов. Авт. св. 1524182, БИ-43, 1989, Москва (Обратимый преобразователь на оптронах)
7. Хмельник С.И. Табличный преобразователь кодов. Авт. св. 1649669, БИ-18, 1991, Москва. (Обратимый преобразователь на оптронах)

8. Хмельник С.И. Вычислительное устройство. Авт. св. 1559339, БИ-15, 1990, Москва (Умножитель – делитель)
9. Хмельник С.И. Квадратичное программирование и дифференциальные уравнения, сборник научных трудов “Вопросы разработки АСУ в энергетике”, “Энергосетьпроект”, Москва, 1985, с. 128-141. (Аналогия между трансформаторами Денниса и интеграторами)
10. Хмельник С.И. Дешифратор. Авт. св. 1229965, БИ-17, 1986, Москва. (Дешифратор на сумматорах и интеграторах)
11. Хмельник С.И. Дешифратор для исправления ошибок. Авт. св. 1305873, БИ-15, 1987, Москва. (Дешифратор на схемах синусоидального тока)
12. Хмельник С.И. Электрические цепи с бинарными потенциалами. <http://laboratory.ru/articl/tech/at161.htm>, 2003.

Авдюнин Е.Г., Нестерчук Е.С., Магницкий В.А.

Моделирование струйных течений при сложных внешних условиях

Разработка схем и оборудования для интенсификации процессов тепло- и массообмена с использованием ВЭР является актуальной проблемой промышленности в настоящее время. Эффективность работы теплоутилизационного оборудования зависит от физико-химических процессов, происходящих в теплоагрегате и утилизационном оборудовании. Эффективность работы теплоутилизатора определяется количеством ВЭР и их потенциалом.

На предприятии «Термометр» г. Клин в цехе установлены две камеры формирования стеклянных шариков. Дымовые газы, уходя из камеры формирования, смешиваются с воздухом цеха и удаляются через зонт.

Уходящие из камеры формирования газы, можно считать свободной струей сжимаемого газа. Струя дымовых газов имеет температуру, отличающуюся от температуры окружающего воздуха. Струя делится на три участка: начальный, основной и переходный. В начальном участке изменение температур, плотностей, массы происходят в пограничном слое струи. Он заканчивается, когда пограничный слой распространяется по всему поперечному сечению струи.

В связи с тем, что движение газа в начальном и переходном участках осуществляется под действием положительного градиента давления, то их можно рассматривать как единый участок. Кроме того, переходный участок имеет незначительную протяженность, по сравнению с основным участком.

Дифференциальное уравнение движение потока в основном участке струи запишется:

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho \vartheta \frac{\partial u}{\partial y} = l_t^2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho \frac{\partial u}{\partial y} \right]; \quad (1)$$

где l – коэффициент струи. Уравнение (1) решалось в координатах:

$$x; \varphi = \frac{y}{ax}.$$

Для пограничного слоя струи в основном участке имеем пять граничных условий:

1. $\varphi = \varphi_1$ (внутренняя граница)

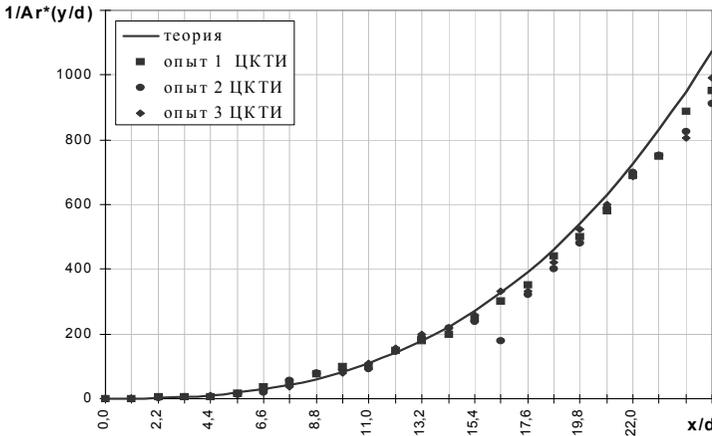


Рис.1. Искривление струи по теории теплых и холодных струй

а) $\frac{\partial(\rho u)}{\partial \varphi} = 0,$

б) $\rho u = \rho_0 u_0,$

в) $\rho_0 \vartheta_0 = 0.$

2. $\varphi = \varphi_2$ (Внешняя граница). (2)

г) $\frac{\partial(\rho u)}{\partial \varphi} = 0,$

д) $\rho u = 0.$

Тогда законы изменения скорости, температуры и плотности запишутся как

$u = u_0 \times f(\varphi),$

$T = T_0 \times \Theta(\varphi),$ (3)

$\rho = \rho \times X(\varphi).$

После преобразований получим решение системы дифференциальных уравнений. Полученное решение не точно описывает реальный процесс истечения, так как не учитывается

искривление траектории движения оси струи вследствие разности плотностей двух сред. Дымовые газы, уходящие из камеры формирования, перемешиваются с холодным воздухом, который опускается вниз и выталкивает теплую газовую смесь. По закону сохранения импульса в случае переменной массы, подъемная сила, действующая на теплую массу газоздушную смеси, имеет вид:

$$\delta p = m \delta \vartheta + \vartheta \delta m. \quad (4)$$

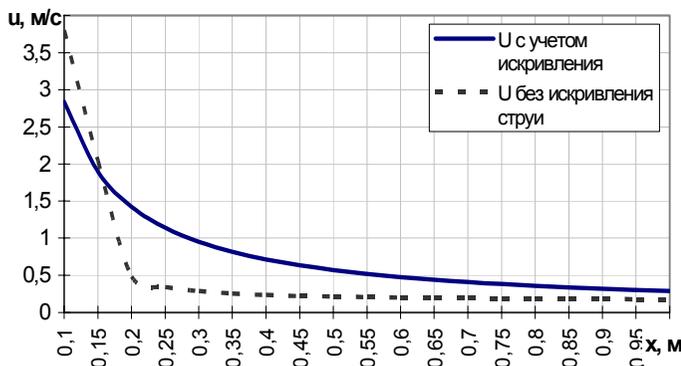


Рис. 2. Изменение скорости вдоль оси струи с учетом «искривления» струи и без него.

На рис. 1 представлен график искривления оси нагретой струи при смешении с холодным воздухом и сравниваются с результатами опытов ЦКТИ.

Проведя преобразования, перейдем к безразмерным величинам, получаем уравнения для скорости вертикального «всплытия» теплой струи:

$$\bar{g} = k \bar{u}_{cp2} \left(c_1 + \int \frac{\partial \bar{x}}{\bar{u}_{cp2}} \right). \quad (5)$$

После решения дифференциального уравнения (4) получим искривление траектории струи:

$$\bar{y} = 0,36 \times \bar{K} (\bar{x}^3 - 0,86 \times \bar{x}). \quad (6)$$

Струя, истекающая из камеры формирования, является двухфазной. На пыль действует большая сила тяжести, чем на газоздушную смесь. Если в начальном участке струи пыль имеет скорость равную скорости струи, то в основном участке скорость

пыли падает и она начинает тормозить газоздушный поток. Поэтому закон изменения скорости двухфазной струи запишется:

$$\frac{u_m}{u_0} = \frac{\sqrt{1 + x_0 \frac{u_m}{u_0}}}{\frac{ax}{R} \sqrt{c}} \quad (7)$$

На рис. 2 показаны изменения скорости вдоль оси струи для процесса истечения с учетом искривления струи и наличия примесей и для процесса без искривления. Для определения адекватности модели истечения рассчитаем поля скоростей и температур в различных сечениях струи. Распределение скоростей в сечении определим с помощью формулы Маттиоли:

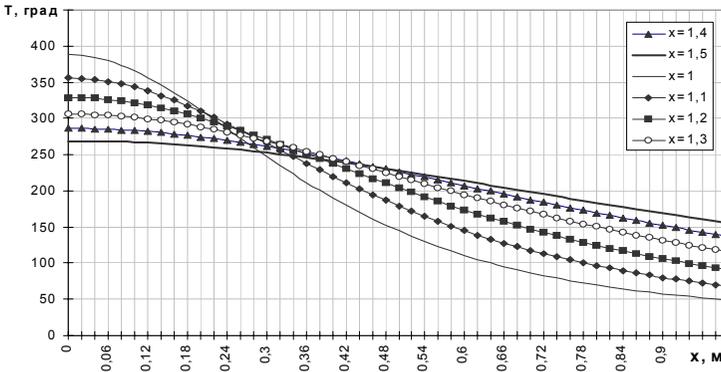


Рис. 3. Температурные поля струи в различных сечениях.

На рис. 3 приведены результаты численного моделирования полей температур в различных сечениях струи и сравнение с результатами опытов Эйлера и Фертмана.

ВЫВОДЫ:

1. Разработана математическая модель процесса истечения нагретой струи в холодное пространство с учетом физических особенностей происходящих процессов переноса в реальных условиях и проведен численный эксперимент.

2. Результаты расчета с помощью математической модели сравнивались с экспериментальными данными. Анализ полученных результатов показал их хорошее согласование.

Литература

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика - :Наука,1976
2. Абрамович Г.Н. Турбулентные свободные струи жидкостей и газов-М.: Государственное энергетическое издательство,1948
3. Аэродинамика потока. Труды ЦАГИ, 1935, № 223
4. Теория свободной струи. Труды ЦАГИ, 1937, № 293
5. Маттиоли Г.Д.Теория, динамика турбулентных течений жидкостей М.: Наука, 1937.

Авдюнин Е.Г., Сергеев В.А., Коновалов А.В.

ОСНОВЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ НАИБОЛЕЕ ЭНЕРГОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

При разработке научных основ интенсификации процессов сушки и термообработки текстильных материалов мы исходили из того, что в современной трактовке интенсификация – это важнейшая составляющая повышения эффективности технологического процесса, целью которой является повышение производительности за счет увеличения скорости процесса и сокращения его продолжительности без увеличения удельных затрат, при условии выполнения технологической задачи, определяющей качество конечного продукта.

Скорость любого процесса пропорциональна его движущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению. Движущая сила зависит от методов обработки и режимных параметров проведения процесса, а сопротивление, в основном, определяется природой обрабатываемого материала. Кривая изменения скорости процесса во времени (кривая кинетики), обычно представляется в виде падающей кривой, достигающей в конце процесса наименьшей величины, когда достигается так называемое “подвижное равновесие”.

Профессором Б.С. Сажиним с сотрудниками разработана новая теория массопереноса. Согласно которой, вид кривой кинетики любого процесса определяется тем, что в общем случае для многофазной системы имеет место не одно, а по крайней мере два “глобальных” равновесных состояния, вследствие взаимного влияния фаз.

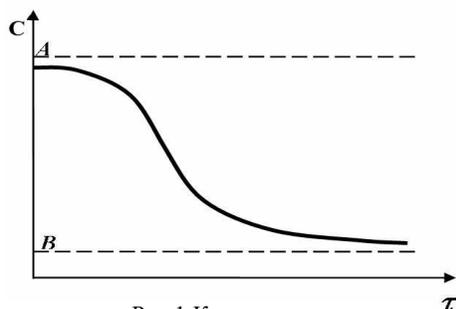
В результате теоретического анализа было получено обобщенное уравнение массопередачи (ОУМ), имеющее применительно к рассматриваемым процессам вид:

$$q = k(A - y)(x - B), \quad (1)$$

где q – скорость (интенсивность) процесса $\left(\frac{dc}{d\tau}\right)$; k – коэффициент скорости процесса; A и B – равновесные концентрации распределяемого компонента в фазах Φ_y и Φ_x .

В соответствии с ОУМ (1) кинетические кривые всех двухфазных массообменных процессов, к которым относится процесс сушки текстильных материалов, в общем виде должны

иметь S-образный характер (рис. 1), что полностью подтверждается экспериментальными данными.



В отличие от традиционного уравнения массопередачи, в котором движущая сила определяется через одну из фаз, обобщенное уравнение включает движущие силы по обеим фазам. Для описания диффузионного процесса с помощью ОУМ достаточно знать всего две постоянные равновесные концентрации распределяемого компонента, тогда как при использовании традиционных методов равновесные концентрации представляют собой переменные величины, изменяющиеся во времени или по длине (высоте) аппарата. В связи с этим для полного описания традиционным методом диффузионного процесса в массообменном аппарате необходимо задавать всю линию равновесия, что в большинстве случаев делает невозможным аналитический расчет массообменного аппарата, требует получения большого массива экспериментальных данных и заставляет прибегать к численным методам расчета.

В отличие от текущих равновесных концентраций, A и B – “глобальные” равновесные концентрации, неизменные для всего процесса. Преимущества практического использования ОУМ при расчете диффузионных процессов связаны также с тем, что коэффициент скорости диффузионного процесса K в ОУМ для заданных условий проведения процесса сохраняет свое постоянное значение во всем объеме массообменного аппарата.

Применительно к процессу сушки текстильных материалов ОУМ можно представить в виде:

$$q = k_w (A_w - W)(W - B_w), \quad (2)$$

где q – скорость сушки $\left(\frac{dw}{d\tau}\right)$; A_w, B_w – равновесные влажности высушиваемого материала на входе в сушильную камеру и на выходе из нее.

Физический смысл равновесной влажности B_w соответствует общепринятому. Начальная равновесная влажность A_w по физическому смыслу представляет собой влажность, достигаемую материалом после завершения прогрева, когда температура сушильного агента у поверхности материала равна температуре мокрого термометра.

В результате интегрирования уравнения (2) и некоторых преобразований можно получить уравнение для определения общей продолжительности сушки. В работе реализована методика определения всех констант уравнения (3), из которого следует, что в координатах $\tau - Z$ зависимость продолжительности сушки от безразмерного комплекса Z представляет собой прямую линию, с тангенсом угла наклона, равным коэффициенту переноса. Положение прямой относительно начало координат соответствует A_w . ОУМ с успехом использовано для расчета не только процессов сушки, но и промывки, пропитки и крашения.

$$\tau = \frac{M}{k_w^1(W_0 - B_w)} \ln \left[\frac{(W_0 - W_k)(A_w - B_w)}{(W_0 - A_w)(W_k - B_w)} \right] = \frac{M}{k_w^1(W_0 - B_w)} Z, \quad (3)$$

где W_0, W_k – соответственно начальная и конечная влажность материала; Z – безразмерный концентрационный комплекс.

Разработана теория и методы интенсификации процесса для каждой из типовых задач массообмена. В случае внешней задачи эффективными являются гидродинамические методы интенсификации с применением активных гидродинамических режимов (АГР). Активизация гидродинамических режимов осуществляется за счет турбулизации потоков, повышения уровня скоростей взаимодействующих фаз при увеличении относительных скоростей и развитии поверхности контакта фаз. Мощными средствами активизации гидродинамики являются применение соплового обдува, закрученных потоков и т.п.

Важнейшими признаками активности гидродинамического режима являются эффект повышения интенсивности процесса, соответствие технологической задаче, обеспечивающее получение требуемого качества обработки, и экономичность. При наличии альтернативных методов активизации гидродинамических режимов

предпочтение отдается более экономичному, а степень активности определяется по значению эксергетического КПД.

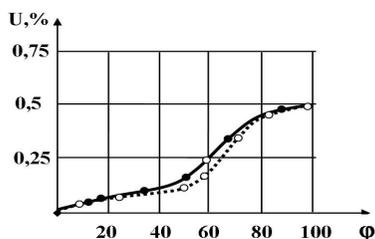


Рис.2 Кривая сорбции и десорбции

Использованный метод базируется на получении интегрального эффекта, связанного с диффузионным сопротивлением, за счет снятия и обработки изотерм сорбции-десорбции (рис. 2) с последующим использованием уравнения Томсона-Кельвина для идентификации эффективных размеров пор. В результате определяется функция $V = f(r)$, интегральная кривая распределения пор по радиусам, после дифференцирования которой получим – дифференциальную кривую распределения пор. В случае внутренней задачи, как показали теоретические и экспериментальные исследования, средствами гидродинамики невозможно существенно интенсифицировать процессы массопередачи и увеличение уровня скоростей является экономически нецелесообразным. Интенсификацию в этих случаях можно осуществлять за счет наложения полей: инфракрасного излучения, ультразвука, токов сверхвысоких частот и др., однако, внутренняя задача массообмена в производствах текстильных материалов встречается редко.

В случае смешанной задачи возможно комбинированное воздействие за счет активизации гидродинамики и наложения полей, например сочетания сопловой сушки тканей и термообработки инфракрасными лучами. При этом достигается существенный эффект при хороших технико-экономических показателях.

Для выбора оптимальных методов и режимов обработки, а также средств интенсификации необходимо для каждого конкретного случая уточнить технологическую задачу, которая включает в себя как технические требования к конечному результату обработки, так и характеристику объекта обработки, которая может быть получена

в результате комплексного анализа материала, как объекта обработки. В сущности, необходимо определить лимитирующие сопротивление в технологическом процессе и найти метод его успешного преодоления, что приведет к интенсификации процесса.

Расчетная кривая кинетики строится методом кусочно-линейной аппроксимации с использованием принципа соответственных состояний. Время удаления жидкости из каждой группы пор соответствует определенной точке на расчетной кинетической кривой. Общую продолжительность процесса обработки τ можно определить из соотношения:

$$\tau = \tau' + \sum_{i=1}^{i=n} k_i \Delta U_i, \quad (4)$$

где τ' – время удаления свободной жидкости.

Таким образом, разработаны научные основы получения кинетических кривых сушки расчетным путем без проведения экспериментов непосредственно с материалом. Разработанная теория расчета и интенсификации массообменных процессов, которая преломлялась для каждого типового процесса с учетом его специфики и условий проведения, детализировалась и служила основой для разработки типовых инженерных методов расчета и интенсификации процессов сушки и термообработки тканей.

Авдюнин Е.Г., Сергеев В.А., Сергеев А.В., Гильмутдинов А.Ю.

Решение экологических проблем при разработке энергосберегающих мероприятий

Целью работы является решение экологических проблем при производстве стеклянных шариков. При этом осуществляется очистка газовых выбросов, что позволяет экономить материальные ресурсы, а также отказаться от закупки тепловой энергии, используя внутренний потенциал тепловых энергоресурсов предприятия.

Во многих отраслях промышленности технологические процессы связаны с переработкой, получением, выделением или использованием высокодисперсных пылевидных материалов и продуктов, с необходимостью их надежного улавливания для наиболее полного извлечения ценных компонентов и снижения загрязнения окружающей среды.

Многообразие промышленных пылегазовых выбросов с различными физико-химическими свойствами привело к созданию широкой номенклатуры пылеулавливающего оборудования с использованием различных принципов осаждения взвешенных частиц. Поэтому в большинстве случаев можно выбрать оптимальный аппарат с учетом свойств пыли и особенностей конкретного технологического процесса.

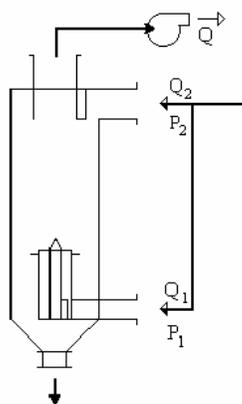


Рис.1. Схема вихревого пылеуловителя ВЗП.

Осаждение пыли в сухих инерционных пылеуловителях происходит, главным образом, за счет сил тяжести и инерции при изменении направления движения газового потока (пылеосадители

и жалюзийные пылеуловители), либо за счет центробежной силы (циклоны и ротационные аппараты). Среди всевозможных принципов сепарации пыли принцип центробежной сепарации или закрученных газовых потоков является самым эффективным и совершенным.

Для улавливания стеклянной фракции предлагается тип вихревого пылеуловителя со встреченным закрученным потоком (ВЗП) [1]. Схема этого аппарата представлена на рис.1. Расход газа через аппарат ВЗП, равен расходу очищенного газа, а давления на входе первичного и вторичного потоков одинаковы.

Вихревые пылеуловители ВЗП, по сравнению с другими аппаратами, имеют меньшие габаритные размеры, удельные энергетические затраты и металлоемкость, большую надежность при улавливании твердой фазы.

Для определения диаметра аппарата принимаем, согласно [1], значения параметра D/W , соответствующей точке А (рис.2). Если в процессе эксплуатации установки появится необходимость повышения степени очистки, следует увеличить кратность расхода по линии АС. Имеем:

$$D/W = \pi D^3 / (4Q), \quad (1)$$

где D – диаметр аппарата, м; Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$; W – средняя скорость в аппарате, $\text{м}/\text{с}$.

Согласно рис. 2 $D/W=0,165$. Из выражения 1 определяем диаметр аппарата:

$$D = \sqrt[3]{4Q / (\pi \cdot W)}. \quad (2)$$

$$0,165 = 3,14 \cdot D^3 / (4 \cdot 2,6).$$

Отсюда $D=0,82$ м.

Принимаем пылеуловитель ВЗП – М диаметром 800 мм в количестве двух штук. Основные размеры пылеуловителя представлены в [1].

В качестве утилизатора теплоты уходящих продуктов сгорания устанавливаем калорифер типа КСК, широко применяемый в промышленности.

Температура продуктов горения равна по расчетам:

$$t_{\text{см}}=312^\circ\text{C} \text{ и количество } L_{\text{см}}=18750\text{м}^3/\text{ч}=5,21\text{м}^3/\text{с}.$$

Тепловой баланс калорифера:

$$Q_{\text{см}} \cdot \eta_{\text{к}} = Q_0, \quad (3)$$

где $Q_{\text{см}}$ – теплота продуктов горения, которую определяем из теплового баланса, кВт; Q_0 – отопительная нагрузка и нагрузка на ГВС, кВт; $\eta_{\text{к}}=0,8$ – КПД калорифера.

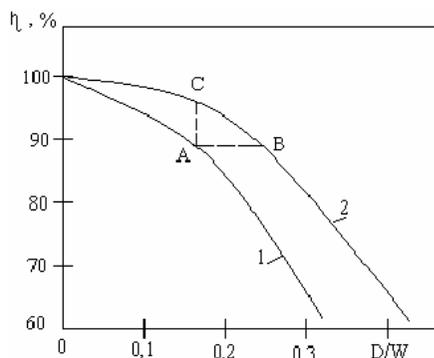


Рис.2. Зависимость улавливания пыли η от параметра D/W и кратности расхода k : 1- $k=0,65$; 2- $k=0,85$

Из решения уравнения 3 определяется температура продуктов горения после калориферов, которая составила $t''_{\text{плг}}=79,2^{\circ}\text{C}$.

Расчет и выбор калориферов производится по стандартной методике [2]. Поверхность нагрева составила $F_{\text{к}}=278,5\text{м}^2$.

Необходимое к установке количество калориферов типа КСК 3-11 определяется по формуле:

$$n = \frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{к1}}} = \frac{278,5}{83,12} = 3,35 \approx 4 \text{ шт.},$$

где $F_{\text{к1}}$ – поверхность нагрева одного калорифера.

Устанавливаем четыре калорифера КСК 3-11. Аэродинамическое сопротивление секции калорифера $\Delta P_{\text{а}}=21,56\text{Па}$. Гидравлическое сопротивление воды в трубках $\Delta P_{\text{г}}=49,3\text{Па}$.

Для уменьшения тепловых потерь в газовом тракте, проведен расчет тепловой изоляции [3]. Для расчета использованы следующие исходные данные:

- | | |
|--------------------------------|--|
| температура перемещаемой среды | - 350°C |
| температура наружного воздуха | - $(-28)^{\circ}\text{C}$ |
| температура в цехе | - 35°C |
| материал изоляции | - маты минераловатные
прошивные, марки 100. |

Для изоляции воздуховодов и оборудования, установленного за пределами цеха принимаем минеральные прошивные маты толщиной 200мм.

Для изоляции воздуховодов в помещении производства шариков расчетную толщину изоляции примем 150мм.

При разработке мероприятий по энергосбережению большое внимание уделялось реконструкции системы теплоснабжения.

Переход от централизованного теплоснабжения от котельной к децентрализованному, с использованием теплоты уходящих продуктов сгорания, требует реконструкции теплового пункта (бойлерной), расположенного в цехе стеклянных шариков. Существующая схема реконструирована с учетом предлагаемых изменений. Насосы, расположенные в тепловом пункте, подают обратную воду с температурой 70°C в утилизатор уходящих продуктов горения. Вода после утилизатора с температурой 95°C подается в отопительный период на нужды отопления, и в течении всего года на нужды горячего водоснабжения. Была разработана тепловая схема, которая показывает, как можно легко регулировать потоки теплоносителя в зависимости от нагрузок, а также полностью перекрывать потоки на отопления при окончании отопительного периода.

Изменение системы теплоснабжения приведет к незначительному увеличению сопротивления сети, т.к. из схемы убираются пароводяные теплообменники (имеющие значительные гидравлические сопротивления), которые заменяются теплоутилизаторами (калориферы). Существующие насосы должны справиться с нагрузкой в новой системе теплоснабжения.

Запасные и регулирующие емкости должны содержать воду в объеме, достаточном для регулирования водопотребления. Тип емкостей, целесообразность их установки и место расположения надлежит определить на основании технико-экономических расчетов.

Запас воды в баках-аккумуляторах, устанавливаемых в помещениях промышленных предприятий, следует определять в зависимости от времени их заполнения в течение смены, принимаемого при числе душевых сеток от 10 до 20шт – 2 часа [4].

Оценка экономической эффективности реконструкции производилась по критерию срока окупаемости T_p , который составил 1,5 года.

Литература

1. Сажин Б.С., Гудиш А.И. Вихревые пылеуловители. – М.: ГП ЦПП, 1994. – 48 с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства: В 3ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1 и 2. / Б.Н. Богословский, А.И. Пирунов, В.Н. Погожин и др. Под.ред. Н.Н.

Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.

3. СНИП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования трубопроводов: Утв. Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 2000. – 28 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства: В 3ч, Ч.2. Водопровод и канализация / Ю.Н. Саргин, Л.И. Друскин, Н.Б. Покровский и др.; Под. ред. Н.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 247 с.

Капелович Б. Э., Хмельник С. И., Левшин А. Ю.,
Капелович Д. Б., Бененсон Е. Б.

Эксплуатация энергетической паровой турбины

Оглавление

1. Проблема
2. Компьютерная система текущего эксплуатационного анализа экономичности работы энергетической паровой турбины
3. Эффект от реализации системы
4. О внедрении системы
5. Варианты реализации системы
 - A. Автоматизированная система
 - B. Неавтоматизированная система
 - C. Теледиагностическая система
6. Пример

Аннотация

Предлагается система диагностики состояния энергетической паровой турбины, которая может быть выполнена также в виде теледиагностической системы.

Система представлена на сайте <http://turbor.mic34.com/>
Разработка системы может быть заказана авторам по адресу solik@netvision.net.il

1. Проблема

В настоящее время развитие энергетики идет по пути укрупнения мощности тепловых электростанций, а также увеличения мощности отдельных агрегатов. Современный уровень энергопотребления требует использования больших количеств топлива. Экономичность энергетических агрегатов, в этих условиях приобретает первостепенное значение, поскольку даже самые незначительные отклонения работы агрегата от расчетных условий приводит к значительным перерасходам топлива и большим материальным потерям.

В этих условиях большое значение приобретает непрерывный текущий контроль экономичности не только всего агрегата, но и отдельных его узлов и элементов.

Современные электростанции имеют достаточное количество точной измерительной аппаратуры и возможность компьютерной обработки результатов измерений. Однако существующие системы выдают лишь общие энергетические и экономические показатели по всей станции в целом, отдельным энергоблокам и цехам. Анализировать источники энергетических потерь, с целью их устранения, при таком подходе невозможно. Необходимо эти потери уметь определять в отдельных элементах агрегатов и комплексов с целью анализа причин их возникновения и устранения.

Таким образом, эксплуатация энергетической паровой турбины (ЭПТ) характеризуется следующими факторами:

- **достаточно просто** обнаруживается отклонение общего состояния всей ЭПТ от нормального (в котором все элементы ЭПТ исправны),
- однако **очень сложно** обнаружить неисправный элемент ЭПТ, который вызывает отклонение состояния всей ЭПТ от нормального,
- **очень сложно** определить вызываемый этим экономический ущерб.

Для решения этих задач можно опираться только на опыт эксплуатационников. При этом далеко не всегда удастся точно и быстро установить причину ненормального состояния ЭПТ. Очевидно, это резко снижает экономичность ЭПТ, поскольку даже самые незначительные отклонения работы ЭПТ от расчетных условий приводят к значительным перерасходам топлива и большим материальным потерям. В связи с этим предлагается система, которая

- формализует **поиск неисправного элемента** в ЭПТ,
- осуществляет непрерывный **мониторинг состояния** элементов ЭПТ и ЭПТ в целом,
- определяет **энергетические потери** от неисправности оборудования,
- выдает **рекомендации персоналу** электростанции о действиях по устранению неисправностей,
- оценивает **экономический эффект** от реализации этих рекомендаций,
- собирает **статистику** изменения состояния элементов ЭПТ для оптимальной организации ремонтов.

В этой системе используется новый метод анализа энергетических потерь во всех элементах ЭПТ по результатам текущих

измерений. Результаты этого анализа используются далее для выделения неисправного элемента и формирования рекомендаций.

2. Компьютерная система текущего эксплуатационного анализа экономичности работы энергетической паровой турбины.

Предлагаемая система выполняет сбор и обработку информации по отдельным элементам и узлам энергетической паровой турбины с целью определения локальных энергетических потерь. На основе анализа таких потерь эта система позволяет решить следующие вопросы:

- Определение уровня и источника энергетической потери в паротурбинном цикле.
- Нахождение наиболее значительных по величине потерь с целью их оперативного устранения.
- Анализ изменения потерь во времени. Исследование динамики различных потерь позволяет прогнозировать дальнейшую работу турбоустановки.
- Исследование локальных потерь, особенно в динамике, позволяет правильно планировать текущие и капитальные ремонты, вести рациональную подготовку к этим ремонтам,
- Анализ локальных потерь позволит увеличить межремонтные сроки или наоборот производить внеплановые ремонты с целью избежания аварийных ситуаций.

На базе разработанных алгоритмов и математических моделей имеется возможность определять потери от

- снижения внутреннего относительного КПД в ЦВД,
- снижения внутреннего относительного КПД в ЦСД,
- заноса промежуточного пароперегревателя,
- ухудшения вакуума в конденсаторе,
- переохлаждения конденсата в конденсаторе,
- ухудшения работы каждого регенеративного подогревателя питательной воды.

Все эти потери могут быть подсчитаны за час работы, за сутки, за месяц, за год и выражены в натуральном топливе, условном топливе и в денежном исчислении. Величина этих потерь высвечивается на мониторе рядом с соответствующим элементом мнемосхемы или технологической схемы. На той же

схеме отображаются и замеряемые параметры, необходимые для расчетов. Эти параметры затем сравниваются с расчетными величинами, заданными заводом-изготовителем, или с результатами тепловых испытаний.

Расчет локальных потерь паротурбинной установки может быть выполнен двумя способами:

- Определение суточных потерь топлива. Замеры и расчеты производятся автоматически в течении суток многократно с последующим суммированием всех потерь топлива.
- Определение ведется на одной расчетной нагрузке.

Первый способ более трудоемкий и требует большого количества исходных данных, полученных путем комплексного испытания турбоустановки в широком диапазоне нагрузок. Второй способ не требует широких испытаний оборудования и позволяет ограничиться лишь данными завода-изготовителя. **Однако и второй метод анализа работы агрегата вполне позволяет произвести качественную оценку состояния оборудования.**

Возможны следующие варианты системы:

- Анализ при фиксированной мощности оборудования.
- Анализ при переменной мощности оборудования.
- Анализ с формированием архива и статистики.

При этом анализ возможен

- с ручным вводом данных,
- с автоматизированным вводом данных.

3. Эффект от реализации системы

Экономический эффект от внедрения системы зависит от мощности, параметров тепловой схемы, режима работы и других факторов, характеризующих работу установки. Поэтому расчет экономического эффекта должен производиться индивидуально для каждого энергоблока.

Для оценочной характеристики были использованы данные реально действующей турбины мощностью **228** Мвт фирмы "Parsons". Даже при весьма умеренных отклонениях (см. ниже) от нормативных значений параметров суммарный перерасход в сутки составляет **17.31** тонн условного топлива. Если оперативно устранить неполадки и сократить хотя бы основные потери, то это даст экономию топлива в количестве **2854.3** тонны в год. При цене **100 \$** за одну тонну условного топлива экономия денежных средств составит **285430 \$** на одном энергоблоке.

Внедрение системы позволяет экономить до **1000 \$ в год на 1 Мвт** установленной мощности (в зависимости от стоимости топлива, мощности и типа установки).

4. О внедрении системы

Предлагаемая система может найти широкое применение на всех энергоблоках любых электрических станций, а также на крупных судовых энергоустановках. Система может быть использована и на турбинном оборудовании ТЭЦ. Но наибольший эффект достигается на крупных конденсационных энергоблоках.

Установка системы не требует значительных капитальных затрат, поскольку основывается на использовании штатного контрольного оборудования электростанций. Основные затраты приходятся на разработку и внедрение данной системы.

При выборе первоочередных объектов для внедрения системы нужно учитывать, что экономический эффект будет зависеть от мощности агрегата и стоимости топлива на электростанциях. Поэтому предпочтение следует отдавать

- крупным энергетическим конденсационным блокам;
- станциям, использующим дорогое топливо.

Разработанный алгоритм определения локальных потерь базируется на данных завода-изготовителя, данных результатах тепловых испытаний турбоустановки (по возможности), а также общих основах термодинамики и теории паротурбинных установок. В связи с этим для реализации системы на конкретном оборудовании должна быть представлена следующая информация:

1. тепловая схема блока с обозначением всех расчетных параметров;
2. результаты последних тепловых испытаний агрегата;
3. следующие характеристики конденсатора:

$$P_k = f(D_k, T_b), \quad N_e = f(P_k), \quad \text{где}$$

D_k - расход пара в конденсаторе,

T_b - температура охлаждающей воды на входе в конденсатор,

P_k - давление в конденсаторе,

N_e - мощность агрегата.

5. Варианты реализации системы.

Любой вариант реализации системы предполагает, что в систему с определенной периодичностью вводятся данные о текущем состоянии энергетической паровой турбины, а система

- Рассчитывает *локальные и суммарные потери* паротурбинной установки *за указанный период*,
- Оценивает *экономический эффект* от устранения этих потерь.
- Выдает *рекомендации* по оптимизации ремонтов оборудования

Варианты реализации системы отличаются только способом ввода данных. Однако этот способ существенно влияет на стоимость системы и стоимость ее эксплуатации. Мы предлагаем следующие варианты.

А. Автоматизированная система

Такая система базируется на основе компьютерного обеспечения современной электростанции. В качестве датчиков измеряемых параметров используются штатные приборы измерения, имеющие выход на блочный щит управления. Для оценки уровня потерь и их сравнительного анализа точность этих приборов вполне достаточна. Все приборы должны иметь электрический выход для подсоединения к компьютерной сети. Такая система позволяет вводить данные автоматически с определенной периодичностью и с той же периодичностью выдавать указанные выше результаты.

В. Неавтоматизированная система

Этот вариант является отличается от предыдущего тем, что не требует монтажных работ. Единственное условие - наличие программы. Программа позволяет вводить данные *вручную* из суточной ведомости по одной расчетной нагрузке, а затем выдавать указанные выше результаты.

С. Теледиагностическая система - ТДС

Этот вариант является для пользователя простейшим. Эксплуатация организуется следующим образом. дежурный персонал энергетической паровой турбины (в дальнейшем - *абонент*) по электронной почте (например, с помощью Интернета) связывается с фирмой, выполняющей текущую диагностику (в дальнейшем - *сервер*). Абонент эпизодически или регулярно (рекомендуется - раз в сутки) отправляет на сервер определенные

данные из суточной ведомости по одной расчетной нагрузке. Сервер в ответ на это возвращает абоненту

- локальные и суммарные потери ЭПТ за указанный период и в динамике,
- рекомендации по диагностике и эксплуатации,
- оценки экономического эффекта от реализации этих рекомендаций.

Предлагаемая ТДС решает эти задачи на основе анализа локальных потерь. Для этого анализа достаточно только данные из суточной ведомости.

6. Пример

В качестве примера приводятся результаты работы системы для турбины мощностью 228 Мвт фирмы “Parsons” с параметрами $P_0 = 140 \text{kg/cm}^2$, $t_0/t_{01} = 538/538^\circ\text{C}$. Отклонения от расчетных значений составляют:

По температуре пара на выходе из ЦВД (T_1)	+2°C
По температуре пара на выходе из ЦСД (T_2)	+3°C
По потере давления в промперегревателе	11%
По температуре пара в конденсаторе (t_k)	+3°C
По переохлаждению конденсата (t_k^1)	-1°C
По температуре питательной воды за ПВД-5 (t_5^1)	-3°C
По температуре конденсата за ПНД-3 (t_3^1)	-2°C
По температуре конденсата за ПНД-2 (t_2^1)	-2°C

Ниже приведена схема ЭПТ, которую наблюдает на дисплее оператор. На этой схеме отображаются результаты расчета и используется следующая терминология:

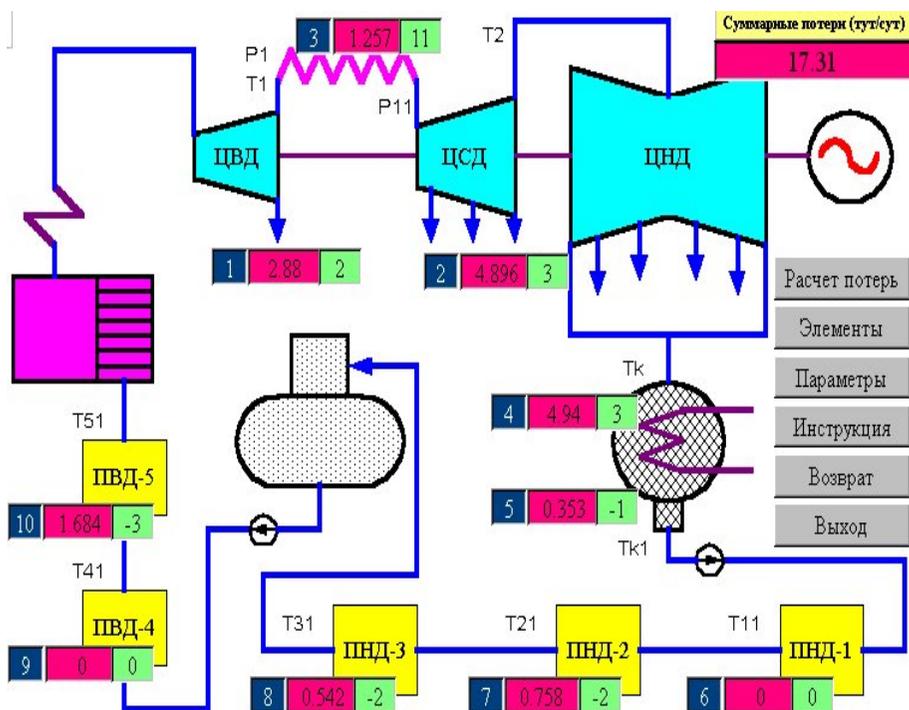
- **Потери** – потери топлива из-за неисправностей оборудования, измеряемые в единицах «тонна условного топлива / сутки».
- **Элемент** – часть агрегата, состояние которой влияет на потери в агрегате.
- **Параметр** – измеряемый параметр.
- **Отклонение параметра** – величина отклонения параметра от расчетного значения.

На схеме ЭПТ каждый элемент сопровождается информационным элементом следующего вида



В информационном элементе выделяются

- **область 1** – номер элемента,
- **область 2** – потери в элементе (в данной программе они измеряются в «тоннах условного топлива / сутки»),
- **область 3** – поле ввода отклонения параметра.



Кроме того, оператору доступны **информационные таблицы**. В таблице «Loss» перечислены потери в элементах и соответствующие им отклонения параметров. Для последних указаны физические пределы изменения, дискретность представления и их зависимость от измеряемых параметров. Измеряемые параметры перечислены в таблице «Measurements».

N	Delta	Min	Max	Отклонение параметра	Unit	Потери (тут/сут)
1	1	1	10	$dT1=normT1-T1$	°C	Потери от ухудшения КПД ЦВД
2	1	1	10	$dT2=normT2-T2$	°C	Потери от ухудшения КПД ЦСД
3	1	11	13	$dP=[(P11-P1)/C-1]*100\%$	%	Потери от заноса промперегревателя
4	1	1	10	$dTk=normTk-Tk$	°C	Потери от ухудшения вакуума
5	1	-5	-1	$dTp=Tk1-Tk$	°C	Потери от переохлаждения конденсата
6	1	-5	-1	$dT11=normT11-T11$	°C	Потери от недогрева в ПНД-1
7	1	-5	-1	$dT21=normT21-T21$	°C	Потери от недогрева в ПНД-2
8	1	-5	-1	$dT31=normT31-T31$	°C	Потери от недогрева в ПНД-3
9	1	-5	-1	$dT41=normT41-T41$	°C	Потери от недогрева в ПНД-4
10	1	-5	-1	$dT51=normT51-T51$	°C	Потери от недогрева в ПНД-5
0	0	0	0			

Обозначение	Параметр
T11	Температура за ПНД-1
T21	Температура за ПНД-2
T31	Температура за ПНД-3
T41	Температура за ПНД-4
T51	Температура за ПНД-5
T1	Температура за ЦВД
T2	Температура за ЦСД
Tk	Температура за ЦНД (в конденсаторе)
Tk1	Температура за конденсатором (в конденсатосборнике)
P1	Давление за ЦВД
P11	Давление перед ЦСД
C=2.57 at	Сопротивление промперегревателя
normX	Норма параметра X

В систему вводятся измеряемые параметры, а величина отклонения параметра вычисляется в зависимости от величин измеряемых параметров. Возможен также непосредственный ввод отклонения параметров.

Величина отклонения параметра влияет на потери в элементе. В связи с этим потеря в элементе может быть определена как некоторая функция соответствующего отклонения. Определение этих функций является основным предметом разработки

программы. В примере они определены для **реального** блока 228 Мвт фирмы «Parsons». Для расчета потерь необходимо определить значения всех отклонений параметров и, нажав на кнопку «*Расчет потерь*», рассчитать потери в элементах турбины и в турбине в целом. При автоматическом вводе измерений программа работает постоянно, выдавая значения потерь в on-line.

Авторы



Авдюнин Евгений Геннадьевич, *Россия*.

avdunin@pte.ispu.ru

1954 г. р. Доктор технических наук., профессор кафедры Промышленной теплоэнергетики Ивановского государственного энергетического университета. Специальность - промышленная теплоэнергетика. Окончил Ивановский энергетический институт в 1977 г.



Бененсон Евгений Борисович, *Израиль*.

benenson@012.net.il

Родился в 1936 г., г. Санкт-Петербург. Окончил Северозападный Политехнический институт и Ивановский Энергетический Институт. Занимался электроспецоборудованием самолётов и двигателей, дефектоскопией металла энергетического оборудования электростанций, технологическими и конструкторскими разработками.

В последние годы занимался автоматизацией оценки физического состояния энергетического оборудования электростанций в процессе его эксплуатации, определением рациональных сроков межремонтных периодов и видов ремонта.



Гельфанд Александр Маркович, *Россия*.

Delfin.Informatika@delin.ru

Заместитель генерального директора ОАО "Институт Энергосетьпроект", руководитель научно-производственной компании "Дельфин-Информатика". Область интересов: системный анализ; методы анализа и обработки данных; интегрированные системы управления. Опубликовано более 50 статей.

Гильмутдинов А.Ю., Россия.

Аспирант. Ивановский государственный энергетический университет



Зайцев Илья Борисович, Россия.

sheepman@yandex.ru

1979 г.р. Окончил Московский государственный университет печати.

Аспирант кафедры «Информационные технологии». Научные и профессиональные интересы: интернет- и мультимедиа-

технологии; адаптивные гипермедиа системы;

информационная фильтрация; марковские модели; machine learning; web&data mining; веб-программирование; проектирование интерфейса.



Капелович Борис Эмануилович, Израиль.

Профессор Ивановского Энергетического Университета, автор 80 статей, изобретений и книг, включая книги «Эксплуатация паротурбинных установок», 1975 и 1985 гг.; учебник «Эксплуатация и ремонт паротурбинных установок», 1988 г.



Капелович Давид Борисович, Украина.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Директор Государственного НИИ Теплоэнергетики, Минэнерго Украины. Автор 12 статей и 15 авторских свидетельств.

**Коновалов Анатолий Васильевич, Россия.**

kononov@pte.ispu.ru

1955 г. р. Кандидат технических наук, доцент кафедры Промышленной теплоэнергетики Ивановского государственного энергетического университета. Специальность Промышленная теплоэнергетика. Окончил Ивановский энергетический институт в 1977 г.

**Купряев Николай Владимирович, Россия.**

kupryaev@front.ru

1962 г.р. В 1994 году (после службы в ПВ) окончил физфак Самарского государственного университета. В настоящее время работает в Самарском филиале ФИАН в должности ведущего инженера. Имеет несколько десятков научных публикаций.

**Левшин Александр Юрьевич, Израиль.**

alex@commwell.biz

Инженер, специалист в области программирования, электроники, телемедицины.

**Магницкий Валерий Александрович, Россия.**

Аспирант, старший преподаватель кафедры Высшей математики Ивановского государственного энергетического университета. Окончил Ивановский государственный университет.

Недосекин Юрий Андреевич, *Россия.*

meson@inetcomm.ru

Окончил в 1969 году физфак Томского государственного университета по специальности "Теоретическая физика".

Нестерчук Е.С., *Россия.*

Ивановский государственный энергетический университет



Сергеев Анатолий Валерьевич, *Россия.*

1979 г. р. Ивановский государственный энергетический университет
Аспирант кафедры "Безопасность жизнедеятельности человека" Ивановского государственного энергетического университета. Инженер - промтеплоэнергетик. Окончил Ивановский государственный энергетический университет в 2002 г.



Сергеев Валерий Анатольевич, *Россия.*

serg@pte.ispu.ru

1938 г. р. Кандидат технических наук, профессор кафедры Промышленной теплоэнергетики. Специальность инженер – теплоэнергетик, тепловые электрические станции. Окончил Ивановский энергетический институт в 1960 г.

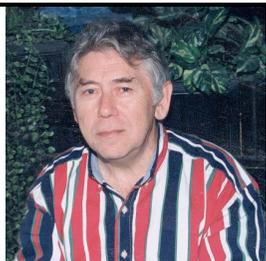


Терехов Василий Борисович, *Россия.*

vabot@mail.ru

Окончил Ленинградский институт киноинженеров в 1977 г., инженер-механик. 1977-1983 гг. – работал в научно-исследовательском отделе Одесского конструкторского бюро кинооборудования, затем на Краснодарском заводе "Тензоприбор".

В 1989 окончил Краснодарский общественный институт патентоведения, патентовед. Работал в ВОИР. В настоящее время: статистик в Детской городской поликлинике (г. Сочи). Интересы: философия, искусственный интеллект, НОТ, психология творчества. С 1998 г. – инициативная разработка концепции "метасистематика" ("метаанализ").



Хмельник Соломон Ицкович, *Израиль*.
solik@netvision.net.il

Кандидат технических наук. Научные интересы – электротехника, электроэнергетика, вычислительная техника, математика. Имеет около 150 изобретений СССР, патентов, статей, книг.

Среди них – работы по теории и моделированию математических процессоров для операций с различными математическими объектами – комплексными числами, векторами, геометрическими фигурами, функциями, алгебраическими и трансцендентными уравнениями.
