

2007 выпуск №5



**Доклады
Независимых
Авторов**

- Вычислительная техника
- Информатика
- Неоконченные истории науки
- Физика и астрономия
- Химия
- Энергетика

Доклады Независимых Авторов

Периодическое многопрофильное научно-техническое издание

Выпуск №5

Вычислительная техника \ 5

Информатика \ 61

Неоконченные истории науки \ 73

Физика и астрономия \ 84

Химия \ 160

Энергетика \ 163

Россия - Израиль
2007

The Papers of independent Authors

(volume 5, in Russian)

Russia - Israel
2007

Copyright © 2007 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 21 мая 2007 г.

Напечатано в США, Lulu Inc., каталожный № 859217

ISBN 978-1-4303-2444-7

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

Контактная информация - publisher-dna@hotmail.com

Факс: +972-8-8691348

Адрес: ПОВ 15302, Вене-Айш, Израиль, 79845

Форма ссылки: *Автор. Статья*, «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2007, вып. 5.

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

Вычислительная техника \ 5

Хмельник С.И. (*Израиль*). Кодирование геометрических фигур \ 5

Информатика \ 61

Кизлов В.В. (*Россия*). Физические основы информационных процессов \ 61

Неоконченные истории науки \ 73

Хмельник С.И., Хмельник М.И. (*Израиль*). К вопросу об источнике энергии в генераторе Серла \ 73

Физика и астрономия \ 84

Недосекин Ю.А. (*Россия*). Одномерное движение двух тел и двух электрических зарядов \ 84

Недосекин Ю.А. (*Россия*). Теория абсолютного движения \ 97

Химия \ 160

Филиппенко Г.Г. (*Белоруссия*). К вопросу о механизме сверхпроводимости в металлах-сверхпроводниках \ 160

Энергетика \ 163

Авдюнин Е.Г., Горшенин В.П. (*Россия*). Обоснование метода оптимизации мощности системы централизованного теплоснабжения \ 163

Авдюнин Е.Г., Горшенин В.П., Сергеев А.В. (*Россия*). Оптимизация параметров состояния продуктов сгорания в водогрейных котлах \ 174

Авдюнин Е.Г., Коновалов А.В., Горшенин В.П. (*Россия*). Обоснование метода оптимизации параметров состояния теплоносителя в тепловых сетях \ 182

Сергеев И.В., Сергеев А.В. (*Россия*). Общие подходы к выполнению вероятностного анализа безопасности для внутренних пожаров на АЭС \ 190

Сергеев И.В. (*Украина*), **Сергеев А.В., Шардаков А.В.** (*Россия*). Общие подходы к выполнению вероятностного анализа безопасности для внутренних затоплений на АЭС \ 200

Об авторах \ 209

Хмельник С.И.

Кодирование геометрических фигур

Аннотация

Описывается малоизвестная теория кодирования геометрических фигур, которая может быть применена для разработки специализированных процессоров. Описывается структура кодов, алгоритмы кодирования, декодирования и арифметических и геометрических операций. Теория дополняется многочисленными примерами.

Оглавление

Введение

1. Первичные геометрические коды
 - 1.1. Структура данных
 - 1.2. Арифметические операции с геометрическими кодами по действительному основанию
 - 1.2.1. Общие положения
 - 1.2.2. Запись базисного кода
 - 1.2.3. Транспонирование
 - 1.2.4. Сложение геометрического и базисного кодов по основанию (2)
 - 1.2.5. Алгебраическое сложение геометрического и базисного кодов по основанию (2)
 - 1.2.6. Алгебраическое сложение геометрического и базисного кодов по основанию (-2)
 - 1.2.7. Умножение геометрического и базисного кодов
 - 1.2.8. Деление геометрического кода на базисный код
 - 1.2.9. Округление геометрического кода
 - 1.3. Геометрические коды по комплексному основанию
 - 1.3.1. Алгебраическое сложение геометрического и базисного кодов
 - 1.3.2. Умножение геометрического и базисного кодов
 - 1.4. Кодирование и преобразование плоских фигур

- 1.4.1. Метод кодирования
 - 1.4.2. Перенос
 - 1.4.3. Центроаффинное преобразование
 - 1.4.4. Аффинное преобразование
 - 1.5. Кодирование и преобразование пространственных фигур
 - 2. Атрибутные геометрические коды
 - 2.1. Структура данных
 - 2.2. АГС по действительному основанию
 - 2.2.1. Запись данного номера
 - 2.2.2. Запись и поиск данного значения
 - 2.2.3. Чтение значения пути с данным номером
 - 2.2.4. Сложение АГС с базисным кодом по основанию (2)
 - 2.2.5. Обратное сложение АГС с базисным кодом по основанию (-2)
 - 2.2.6. Инвертирование АГС по основанию (-2)
 - 2.2.7. Алгебраическое сложение АГС
 - 2.2.8. Поиск следующего открытого пути, его номера и его значения
 - 2.2.9. Умножение АГС на базисный код
 - 2.3. Атрибутные геометрические коды по комплексному основанию
 - 2.3.1. Обратное сложение АГСС с базисным кодом
 - 2.3.2. Инвертирование
 - 2.3.3. Центроаффинное преобразование
 - 2.4. Атрибутные геометрические коды пространственных фигур
 - 2.5. Сокращенные атрибутные геометрические коды
- Литература

Введение

В статье рассматривается малоизвестная теория компьютерной арифметики геометрических фигур – плоских и пространственных. Эта теория ориентирована на **аффинное** преобразование неструктурированных геометрических фигур с произвольным характером распределения точек. Именно выявление структуры и является целью преобразования. Поэтому наблюдаемый объект может быть определен только как пространство, каждая точка которого имеет некоторые характеристики. Задачи аффинного преобразования пространства широко используются в науке и

технике – в медицине, обработке и визуализация данных, астрономии, сейсмологии и т.д. Наиболее яркими и хорошо известными примерами применения аффинного преобразования могут служить компьютерная томография и сжатие информации для телекоммуникационных систем.

В книге рассматриваются аффинные преобразования (перемещения, повороты, масштабирование, сдвиги) n -мерных фигур. Обычно указанные преобразования фигур выполняются путем вычисления координат точек преобразованной фигуры по известным координатам точек исходной фигуры. Однако такой метод требует много процессорного времени, так как вычисление координат выполняется последовательно для всех точек и требует нескольких операций для каждой точки (например, для вычисления новых координат при аффинном преобразовании плоской фигуры требуется по 4 операции сложения и умножения).

Указанные задачи включают операции с комплексными числами, так как точка на плоскости может быть представлена комплексным числом. При этом одноименные операции могут выполняются одновременно с множеством комплексных чисел. Для решения подобных задач используются процессоры с архитектурой SIMD (Single Instruction, Multiple Data). Однако эти процессоры оперируют с действительными числами. При этом каждая операция с комплексными числами требует нескольких операций с действительными числами - действительными и мнимыми частями этих комплексных чисел. Аналогично, геометрические преобразования в трехмерном пространстве используют операции с трехмерными векторами – тройками действительных чисел. При этом каждая операция с векторами требует еще больше операций с действительными числами. Все это значительно увеличивает время вычислений. Кроме того, множество комплексных чисел и векторов, описывающих фигуру, занимает большой объем памяти. Имеется, таким образом, потребность в методе и системе для эффективных SIMD вычислений с множеством комплексных чисел и векторов, описывающих фигуру. Эти вычисления должны быть эффективными по времени вычислений и требуемой памяти.

Решение указанных задач может быть значительно ускорено при специальном кодировании множества комплексных чисел и векторов. В связи с этим далее рассматривается метод *представления множества комплексных чисел и векторов так называемым геометрическим кодам*, а затем описываются различные операции с ним. Геометрические коды предложены в [3, 4] и рассмотрены также в [5-

10], а в [11] описываются геометрические процессоры, в которых применены эти геометрические коды. При построении геометрического кода используется метод представления комплексных чисел и векторов единым двоичным кодом [1, 2].

Этот метод заключается в том, что координаты двоичных кодов комплексных чисел и векторов изображается единым двоичным кодом. Его объем существенно меньше суммарного объема массива исходных двоичных кодов. Относительное сокращение объема зависит от количества кодируемых чисел и растет с увеличением этого количества.. Кодируемое множество комплексных чисел НЕ структурировано. Можно говорить о их случайном множестве. Кодируемые комплексные числа и векторы являются множеством координат (что существенно), с которыми надо выполнять вычисления. Дополнительная информация о точках (например, цвет), если она не участвует в вычислениях, кодированию не подлежит и должна храниться в отдельном массиве – массиве атрибутов. Геометрический код хранит (помимо координат) также информацию о связях каждой точки с ее атрибутами.

С геометрическим кодом выполнимы арифметические операции (алгебраическое сложение, умножение комплексных чисел и векторов, аффинное преобразование). Эти операции эквивалентны групповым операциям с координатами всех точек одновременно.

Важно отметить, что время выполнения операции с геометрическим кодом равно времени выполнения одноименной операции с парой чисел, *если* весь геометрический код помещается в оперативном регистре арифметического устройства. Предполагается, что исходные коды являются кодами с фиксированной точкой (например, координатами точки на экране).

Возможна также фрагментация геометрического кода, которая позволяет оперировать с отдельными фрагментами геометрического кода, если разрядность регистра арифметического устройства не достаточна для хранения полного кода.

Важно отметить, что геометрический код позволяет оперировать с фигурой, как с целым, единственным объектом. При этом объем данных (кодов координат) сокращается. Однако (и это важно подчеркнуть для исключения заблуждений) геометрический код не сжимает сами геометрические фигуры. Предполагается, что кодируемая геометрическая фигура описывается случайным набором точек и не имеет какой-либо структуры, что характерно для растровых изображений.

1. Первичные геометрические коды

1.1. Структура данных

Рассмотрим бинарное дерево, изображенное на рис. 1.1, и присвоим каждой его вершине двухзначный номер (i, k) , где k - номер яруса, а i - номер вершины в k -ярусе. При этом будем считать, что нумерация ярусов идет справа налево, а нумерация вершин - сверху вниз.

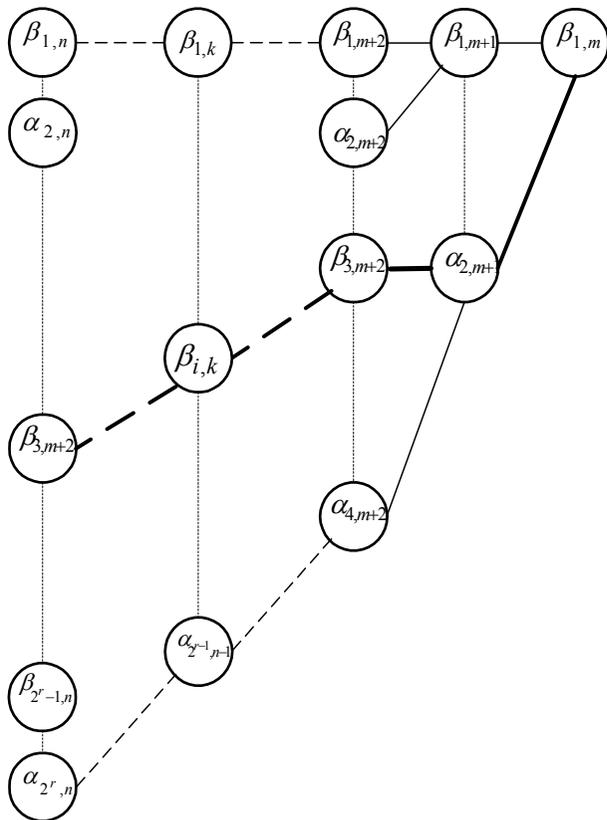


Рис. 1.1. Дерево геометрического кода.

Пусть m и n - номера крайнего правого и левого ярусов соответственно. Тогда $k=(n, n-1, \dots, m+1, m)$; $i=(1, 2, \dots, 2^{k-m})$; число ярусов $r=(n-m+1)$; число узлов дерева $u=(2^r - 1)$; число вершин в n -ярусе $N=2^{r-1}$. Обозначим через $\alpha_{i,k}$ вершину с номером i - четным и через $\beta_{i,k}$ - вершину с номером i - нечетным.

Путь в дереве, соединяющий вершины $\beta_{1,m}$ и $\beta_{p,n}$, назовем **p-путем**. Очевидно, каждый p -путь можно изобразить последовательностью символов α и β . Например, на рис. 1.1 выделен p -путь, которому соответствует последовательность

$$\beta_{p,n} \dots \beta_{i,k} \dots \beta_{3,m+2} \alpha_{2,m+1} \beta_{1,m}.$$

Каждый символ $\alpha_{i,k}$ или $\beta_{i,k}$ последовательности, изображающей некоторый p -путь на дереве, назовем **k-разрядом p-пути** или **(i, k)-разрядом дерева**. Если каждому разряду p -пути поставить в соответствие 1 для α -разряда или 0 для β -разряда, то p -путь может быть изображен двоичным кодом $K[p]$. В частности, для рис. 1.1 $K[p] = 0\dots 0\dots 010$. Номер p -пути равен номеру того разряда в n -ярусе, которым заканчивается этот путь. Условимся теперь, что α и β - двоичные величины, то-есть $\alpha = (0,1)$ и $\beta = (0,1)$. Назовем p -путь **открытым**, если величина всех его разрядов равна 1, и **закрытым**, если величина хотя бы одного его разряда равна 0.

На рис. 1.2 для иллюстрации изображено дерево двоичных разрядов, в котором открыты пути (в скобках указан двоичный код, соответствующий данному пути)

$$\begin{array}{ll} \alpha_{43} \alpha_{22} \beta_{11} \beta_{10} & (K[4]=1100), \\ \beta_{53} \beta_{32} \alpha_{21} \beta_{10} & (K[5]=0010), \\ \alpha_{63} \beta_{32} \alpha_{21} \beta_{10} & (K[6]=1010), \\ \beta_{73} \alpha_{42} \alpha_{21} \beta_{10} & (K[7]=0110), \end{array}$$

то-есть это дерево представляет 4 двоичных кода. Следует обратить внимание на то, что открытому пути, изображаемому в дереве только единичными разрядами, соответствует двоичный код, содержащий в общем случае и нулевые разряды.

Построенное так бинарное дерево двоичных разрядов, изображающее множество двоичных кодов, назовем **первичным геометрическим кодом PGC** (в данном разделе прилагательное «первичный» будет опускаться и будет говориться о геометрическом коде **GC**), а составляющие его двоичные коды - **линейными кодами**. Номер разряда в старшем ярусе геометрического кода назовем **адресом** соответствующего линейного кода. Сокращение числа двоичных разрядов при изображении a двоичных кодов в виде геометрического кода $g=ra/(2^{r+1}-2)$.

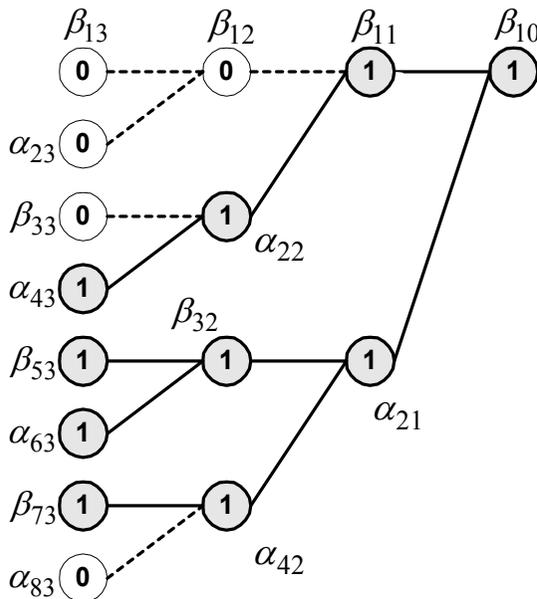


Рис. 1.2. Пример. Дерево бинарных разрядов

В частности, если все пути дерева открыты, то оно изображает все r -разрядные двоичные коды. Из приведенной формулы следует, что экономичность геометрического кода возрастает пропорционально величине a . Однако достоинства геометрического кода состоят, главным образом, в том, что с ним довольно просто выполняются различные операции. Поэтому геометрический код имеет смысл применять тогда, когда имеется достаточно большая группа двоичных кодов, с которыми необходимо выполнять одинаковые - **групповые операции**, например, умножать все коды на одно и тоже число. Кроме того, геометрическим кодом удастся (как будет показано ниже) изображать произвольные фигуры и трактовать различные преобразования этих фигур как операции с геометрическим кодом.

1.2. Арифметические операции с геометрическими кодами по действительному основанию

1.2.1. Общие положения

Операции с геометрическими кодами, которые рассмотрены ниже, как правило, эквивалентны некоторой логической или

арифметической операции между известным - **базисным** двоичным кодом и каждым из линейных кодов, входящих в множество, представленное геометрическим кодом. Кроме того, эти операции связаны с распространением **переносов** из правых - младших ярусов в левые - старшие ярусы дерева. Обозначим

- $\beta_{i,k}$ - (i, k) - разряд геометрического кода при i - нечетном;
- $\alpha_{i,k}$ - (i, k) - разряд геометрического кода при i - четном;
- $\pi_{i,k}$ - общий перенос в разряды $\beta_{2i-1,k+1}$ и $\alpha_{2i,k+1}$ (i -нечетное);
- $\mu_{i,k}$ - перенос π из разряда $\beta_{i,k}$;
- $\eta_{i,k}$ - перенос π из разряда $\alpha_{i,k}$;
- δ_k - k - разряд базисного кода;
- $\tau_{i,k}$ - сигнал транспонирования кода, у которого угловым является (i, k) - разряд.

Перенос $\eta_{i,k}$ из разряда $\alpha_{i,k}$ или перенос $\mu_{i,k}$ из разряда $\beta_{i,k}$ поступают в разряды $\beta_{2i-1,k+1}$ и $\alpha_{2i,k+1}$ в качестве переноса $\pi_{i,k}$ по схеме, представленной на рис. 1.2а.

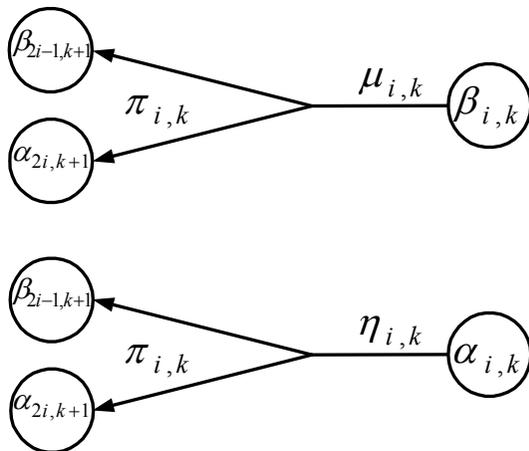


Рис. 1.2а. Схема распространения переносов в GC

Сигнал транспонирования $\tau_{i,k}$ **предшествует** сигналам $\mu_{i,k}$ и $\eta_{i,k}$, которые являются логическими функциями значений

разрядов $\beta_{2i-1,k+1}$ и $\alpha_{2i,k+1}$, полученных после транспонирования.

Базисный код и линейные коды, представленные геометрическим кодом, могут рассматриваться как двоичные коды по основанию p некоторого числа или вектора. При этом всем разрядам геометрического кода, входящим в k -ярус, должен быть присвоен вес k -разряда линейного кода.

Число линейных кодов в составе геометрического кода при арифметических операциях не изменяется.

1.2.2. Запись базисного кода.

Процесс распространения переноса при формировании в GC пути, имеющего линейный код, равный базисному коду δ определяется следующими формулами:

$$\mu = \pi \wedge \overline{\delta}, \quad \eta = \pi \wedge \delta.$$

При $\mu=1$ разряд β принимает значение “1” вне зависимости от его прежнего значения. Аналогично, при $\eta=1$ разряд α принимает значение “1”.

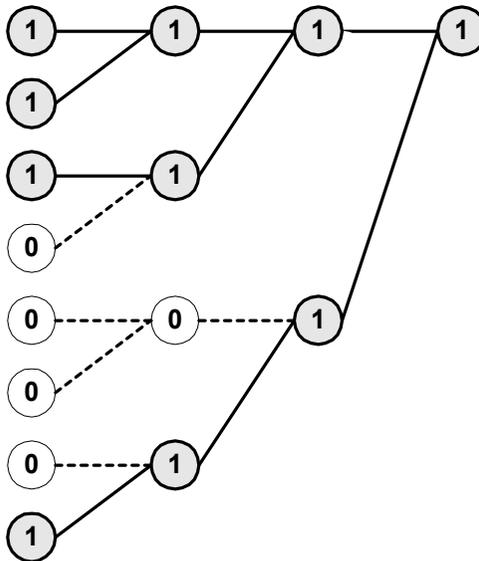


Рис. 1.3. Пример. Транспонированный код.

1.2.3. Транспонирование

Транспонированием геометрического кода будем называть такое преобразование, при котором нижняя и верхняя половины геометрического кода меняются местами. Точнее говоря, разряды исходного кода связаны с разрядами транспонированного кода (помеченные верхней чертой) следующим образом:

$$\alpha_{i,k} = \bar{\alpha}_{j,k}, \quad \beta_{i,k} = \bar{\beta}_{j,k}, \quad j = \text{rest}(1 + 2^{k-i}) \bmod 2^{k-i+1}.$$

Например, код на рис. 1.2 транспонируется в код на рис. 1.3.

1.2.4. Сложение геометрического и базисного кодов

при $\rho=2$ описывается табл. 1.1а, откуда следует, что

$$\tau = \delta \oplus \pi, \quad \eta = \alpha \wedge \delta \wedge \pi, \quad \mu = (\delta \vee \pi) \wedge \beta, \quad \rho$$

асставляя индексы, получаем следующие формулы:

$$\tau_{i,k} = \delta_{k+1} \oplus \pi_{i,k}, \tag{1.1}$$

$$\eta_{i,k} = \alpha_{i,k} \wedge \delta_k \wedge \pi_{i-1,k-1} \quad \text{при } i - \text{четном}, \tag{1.2}$$

$$\mu_{i,k} = (\delta_k \vee \pi_{i,k-1}) \wedge \beta_{i,k} \quad \text{при } i - \text{нечетном}. \tag{1.3}$$

Таблица 1.1а. Сложение геометрического и базисного кодов при $\rho=2$.

α	β	δ	π	τ	η	μ
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	1	1

Пример 1.1 сложения при $\rho=2$. Пусть базисный код $\mathbf{K}=\langle 2 \rangle$ или $\mathbf{K}=10$, а геометрический код \mathbf{G} изображает множество линейных кодов $\{ 1100, 0010, 1010, 0110 \}$ или, что одно и то же, множество чисел $\{ 12, 2, 10, 6 \}$. Найдем геометрический код $\mathbf{R} = \mathbf{G} + \mathbf{K}$ – см. рис. 1.4. Процесс распространения переносов прекращается. Полученный код $\mathbf{R} = \mathbf{G}_4$ изображает множество кодов $\{ 1110, 0010, 1100, 1000 \}$, то есть множество чисел $\{ 14, 4, 12, 8 \}$, что и требовалось получить. Таким образом, сложение геометрического и базисного кодов при $r = 2$ сводится к многократному транспонированию.

$m =$	3 2 1 0	номер разряда
$K =$	0 0 1 0	базисный код
1)	$G_1 =$	$\pi_{10} = 0$
	0	
	0 1	$\tau_{10} = \delta_1 = 1$
	1	
	1 1 1	
	1	
	1 1	
	0	
2)	$G_2 =$	$\pi_{11} = (\delta_1 \vee \pi_{10}) \wedge \beta_{11} = 1$
	1	
	1 1	$\pi_{21} = \alpha_{21} \wedge \delta_1 \wedge \pi_{10} = 0$
	0	
	0 0 1	$\tau_{11} = \delta_2 \oplus \pi_{11} = 1$
	0	
	0 1	$\tau_{21} = \delta_2 \oplus \pi_{21} = 0$
	1	
3)	$G_3 =$	$\pi_{12} = 1$
	0	
	1 1	$\pi_{22} = \pi_{32} = \pi_{42} = 0$
	1	
	0 0 1	$\tau_{12} = 1$
	0	
	0 1	$\tau_{22} = \tau_{32} = \tau_{42} = 0$
	1	
4)	$G_4 =$	$\pi_{i,3} = 0$
	1	
	1 1	$\tau_{i,3} = 0$
	1	
	0 0 1	
	0	
	0 1	
	1	

Рис. 1.4. К примеру 1.1.

1.2.5. Алгебраическое сложение геометрического и базисного кодов при $\rho=2$ возможно только в том случае,

если исходные числа представлены в виде дополнительных кодов. В этом случае алгебраическое сложение описывается теми же уравнениями. Применение обратных кодов невозможно, так как в геометрическом коде не удастся организовать цепи циклического переноса.

1.2.6. Алгебраическое сложение геометрического и базисного кодов при $\rho=-2$ состоит из последовательно

выполняемых операций инвертирования (умножения на '-1') и обратного сложения (вычисления по формуле $c=-a-b$). Операция обратного сложения описывается табл. 1.1b, из которой следует, что

$$\tau = \delta \oplus \pi, \quad \eta = \alpha \wedge (\delta \vee \bar{\pi}), \quad \mu = \beta \wedge \delta \wedge \bar{\pi}.$$

Таблица 1.1b. Обратное сложение GC с базисным кодом при $\rho=-2$.

α	β	δ	π	τ	η	μ
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	1

Эти же формулы при $\delta=0$ описывают инвертирование геометрического кода. Здесь также можно воспользоваться формулами (1.1) и

$$\eta_{i,k} = \beta_{i,k} \wedge \delta_k \wedge \bar{\pi}_{i-1,k-1} \quad \text{при } i - \text{ четном,} \quad (1.4)$$

$$\mu_{i,k} = (\delta_k \vee \bar{\pi}_{i,k-1}) \wedge \alpha_{i,k} \quad \text{при } i - \text{ нечетном.} \quad (1.5)$$

Пример 1.2 обратного сложения при $\rho = -2$. Пусть базисный код $\mathbf{K} = \langle 2 \rangle$ или $\mathbf{K} = 110$, а геометрический код \mathbf{G} изображает множество линейных кодов $\{0000, 0100, 0010, 0110\}$ или, что одно и то же, множество чисел $\{0, 4, -2, 2\}$. Найдем геометрический код $\mathbf{R} = -\mathbf{G} - \mathbf{K}$ - см. рис. 1.5.

Процесс распространения переносов прекращается. Полученный код $\mathbf{R} = \mathbf{G}_4$ изображает множество кодов $\{0000, 1100, 0010, 1110\}$, то есть множество чисел $\{0, -4, -2, -6\}$, что и требовалось получить. Таким образом, сложение геометрического и базисного кодов при $\rho = -2$ сводится к многократному транспонированию.

$m =$	3 2 1 0	номер разряда
$K =$	0 0 1 0	базисный код
1)	$G_1 =$	$\pi_{10} = 0$
	1 1 1 1	
	0	
	1 1	$\tau_{10} = \delta_1 = 1$
	0	
	1 1 1	
	0	
	1 1	
	0	
2)	$G_2 =$	$\pi_{11} = \beta_{11} \wedge \delta_1 \wedge \bar{\pi}_{10} = 1$
	1 1 1 1	
	0	
	1 1	$\pi_{21} = \alpha_{21} \wedge (\delta_1 \vee \bar{\pi}_{10}) = 1$
	0	
	1 1 1	$\tau_{11} = \delta_2 \oplus \pi_{11} = 0$
	0	
	1 1	$\tau_{21} = \delta_2 \oplus \pi_{21} = 0$
	0	
3)	$G_3 =$	$\pi_{12} = \pi_{32} = 0$
	1 1 1 1	
	0	
	1 1	$\pi_{22} = \pi_{42} = 1$
	0	
	1 1 1	$\tau_{12} = \tau_{32} = 0$
	0	
	1 1	$\tau_{22} = \tau_{42} = 1$
	0	
4)	$G_4 =$	$\pi_{i,3} = 0$
	1 1 1 1	
	0	
	0 1	$\tau_{i,3} = 0$
	1	
	1 1 1	
	0	
	0 1	
	1	

Рис. 1.5. К примеру 1.2.

Для ликвидации переполнения разрядной сетки, которое может возникнуть при умножении, следует воспользоваться операцией округления, описанной ниже.

Данный способ умножения не применим при $\rho = 2$, если среди чисел, представленных линейными кодами, имеются отрицательные числа.

Пример 1.3 умножения при $\rho = -2$. Найдем произведение базисного кода $\mathbf{K} = \langle -2 \rangle$ или $\mathbf{K} = 10$ и геометрического кода – см. рис. 1.6.

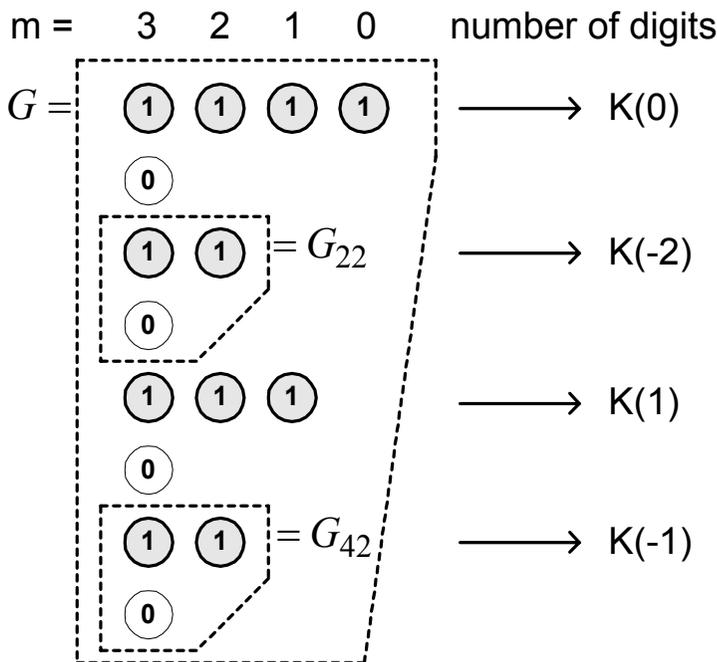


Рис. 1.6. К примеру 1.3.

В третьем ярусе кода G нет разрядов $\alpha = 1$. Поэтому переходим к анализу второго яруса, где $\alpha_{22} = \alpha_{42} = 1$. Выделяем коды G_{22}, G_{42}, G'_0 . Производим сложение кодов G_{22}, G_{42} и 10 , в результате чего получаем коды G'_{11} и G'_{21} . Налагаем затем эти коды на код G'_0 и получаем код G' – см. рис. 1.7.

$G'_0 =$	$G'_{21} =$	$G'_{11} =$	$G' =$
1 1 1 1	0 1 1	0 1 1	1 1 1 1
0	1	1	1
0 0	0 0	0 0	0 0
0	0	0	0
1 1 1			1 1 1
0			1
0 0			0 0
0			0

Рис. 1.7. К примеру 1.3.

Рассматриваем первый ярус полученного кода G' и выделяем из него коды – см. рис. 1.8.

$G''_{21} =$	$G''_0 =$
1 1 1	1 1 1 1
1	1
0 0	0 0
0	0
	0 0 0
	0
	0 0
	0

Рис. 1.8. К примеру 1.3.

Производим сложение кода G''_{21} с кодом 10 и в результате получаем код G''_{11} . Налагаем затем код G''_{11} на код G''_0 и получаем окончательно код G'' – см. рис. 1.9.

$G''_{11} =$	$G'' =$	$\rightarrow K(\dots)$
0 0 1 1	1 1 1 1	$\rightarrow K(0)$
0	1	$\rightarrow K(4)$
1 1	1 1	$\rightarrow K(-2)$
1	1	$\rightarrow K(2)$
0 0 0	0 0 0	
0	0	
0 0	0 0	
0	0	

Рис. 1.9. К примеру 1.3.

Таким образом, $G'' = -2G$. Правильность умножения легко проверить. Действительно, код G изображает множество чисел $\{-2, -1, 0, 1\}$, а код G'' - множество чисел $\{-2, 0, 2, 4\}$, получаемое из первого умножением на '-2'.

Рассмотрим частный случай, когда базисный код содержит «1» в младшем разряде. При этом алгоритм умножения упрощается и состоит в следующем:

- выделить в геометрическом коде G геометрический код $G_{i,k}$, в младшем разряде которого находится разряд $\alpha_{i,k} = 1$;
- сложить код $G_{i,k}$ с базисным кодом, у которого младший разряд обнулен, полагая, что вершина кода $G_{i,k}$ лежит в нулевом ярусе – в результате этой операции образуется некоторый код $G'_{i,k}$;
- наложить код $G'_{i,k}$, полученный в предыдущем пункте, на код G .

Такой алгоритм эквивалентен тому, что все коды $\{G_{i,k}, i - \text{var}\}$ k -яруса складываются с базисным кодом, у которого младший разряд обнулен. При этом переносы исходят из разрядов $\alpha_{i,k}$, а сам этот разряд не меняет своего значения, т.к. складывается с нулевым разрядом базисного кода.

Пример 1.3а умножения при $\rho=-2$. Найдем произведение базисного кода $\mathbf{K}=\langle -1 \rangle$ или $\mathbf{K}=11$ и геометрического кода – см. рис. 1.9а.

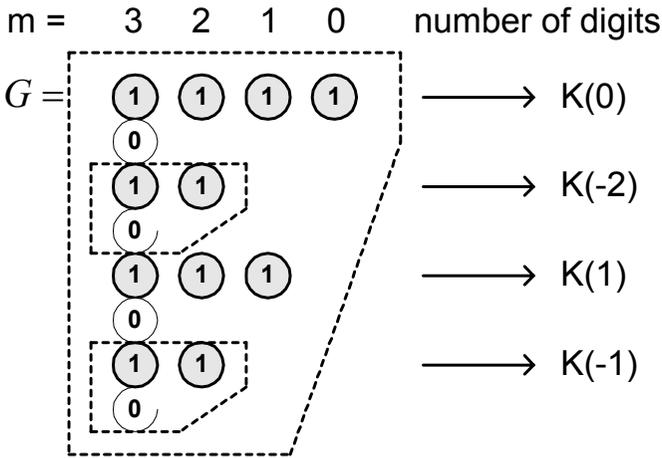


Рис. 1.9а. К примеру 1.3а.

В третьем ярусе G нет разрядов $\alpha=1$. Поэтому переходим к анализу второго яруса, где $\alpha_{22} = \alpha_{42} = 1$. После сложения кода G с измененным базисным кодом 10 получаем код G' – см. рис. 1.9б.

$G' =$	$\rightarrow K(\dots)$
1 1 1 1	$\rightarrow K(0)$
0	
0 1	
1	$\rightarrow K(2)$
1 1 1	$\rightarrow K(1)$
0	
0 1	
1	$\rightarrow K(3)$

$G'' =$	$\rightarrow K(\dots)$
1 1 1 1	$\rightarrow K(0)$
0	
0 1	
1	$\rightarrow K(2)$
1 1 1	$\rightarrow K(1)$
0	
1 1	$\rightarrow K(-1)$
0	

Рис. 1.9б. К примеру 1.3а.

В первом ярусе этого кода $\alpha_{12} = 1$. После сложения кода G' с измененным базисным кодом 10 получаем код G'' – см. рис. 1.9b. Таким образом, $G'' = -G$. Правильность умножения легко проверить. Действительно, код G изображает множество чисел $\{-2, -1, 0, 1\}$, а код G'' – множество чисел $\{-1, 0, 1, 2\}$, получаемое из первого умножением на '-1'.

1.2.8. Деление геометрического на базисный код некоторого числа заменяется умножением геометрического кода на базисный код обратного числа.

1.2.9. Округление геометрического кода, содержащего r ярусов, состоит в отбрасывании младшего яруса. В результате образуются два кода, содержащих по $(r-1)$ ярусов. Операция заканчивается наложением полученных кодов. Таким образом, в результате наложения остается меньшее (точнее, не большее) число линейных кодов меньшей разрядности. Это связано с тем, что при отбрасывании младших разрядов могут образоваться равные линейные коды, которые в результирующем геометрическом коде фиксируются как один код.

1.3. Геометрические коды по комплексному основанию.

В качестве основания кодирования линейных кодов могут использоваться комплексные числа. Аналогично этому могут быть построены атрибутные геометрические коды по комплексному основанию. В отличие от предыдущего в таких кодах значением пути является линейный двоичный код по комплексному основанию. Такие коды описаны в разделе 3.1 – см. табл. 3.1.1, где перечислены существующие системы кодирования комплексных чисел. Ниже будут рассмотрены арифметические операции с геометрическими кодами в системах кодирования 1, 2 и 3. Поэтому в дальнейшем изложении кодов можно воспользоваться результатами предыдущего раздела. Некоторые операции вовсе не зависят от основания кодирования и они здесь не рассматриваются.

1.3.1. Алгебраическое сложение геометрического и базисного кодов.

В указанных системах двоичный код комплексного числа может рассматриваться (при выполнении алгебраического сложения) как два кода частей Im и Re по основанию $\rho = -2$, разряды которых чередуются. В связи с этим операции обратного сложения при описываются такими же, как при $\rho = -2$, уравнениями, но переносы $\mu_{i,k}$ и $\eta_{i,k}$ из k -яруса поступают не в два разряда $(k+1)$ -яруса, а в четыре разряда $(k+2)$ -яруса. Формулы сложения в этом случае принимают следующий вид:

$$\tau_{i,k} = \delta_{k+1} \oplus \bar{\pi}_{(i+1)/2, k-1} \quad \text{при } i - \text{четном}, \quad (1.6)$$

$$\tau_{i,k} = \delta_{k+1} \oplus \bar{\pi}_{i/2, k-1} \quad \text{при } i - \text{нечетном}, \quad (1.7)$$

$$\eta_{i,k} = \beta_{i,k} \wedge \delta_k \wedge \bar{\pi}_{j, k-2} \quad \text{при } i - \text{четном}, \quad (1.8)$$

$$\mu_{i,k} = (\delta_k \vee \bar{\pi}_{j, k-2}) \wedge \alpha_{i,k} \quad \text{при } i - \text{нечетном}, \quad (1.9)$$

где $j=1+z[(i-1)/4]$, а функция $z[x]$ - целая часть от аргумента x .

Пример 1.4 обратного сложения при $\rho = j\sqrt{2}$. Пусть базисный код $\mathbf{K} = \langle j\sqrt{2} \rangle = 10$, а коды чисел 0 и $j\sqrt{2}$ изображены геометрическим кодом \mathbf{G} . Найдем геометрический код $\mathbf{R} = -\mathbf{G} - \mathbf{K}$ – см. рис. 1.10.

$m =$	3 2 1 0	номер разряда
$K =$	0 0 1 0	базисный код
1) $G = G_1 =$	1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0	$\pi_{10} = 0$ $\tau_{10} = \delta_{10} = 1$
2) $G_2 =$	1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0	$\pi_{11} = \beta_{11} \wedge \delta_{10} = 1$ $\pi_{21} = \alpha_{21} \wedge \delta_{10} = 1$ $\tau_{11} = \delta_{20} = 0$ $\tau_{21} = \delta_{20} = 0$
3) $G_3 =$	1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0	$\pi_{12} = \pi_{22} = \pi_{32} = \pi_{42} = 0$ $\tau_{12} = \tau_{22} = \tau_{32} = \tau_{42} = 1$
4) $G_4 =$	0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0	$\pi_{i,3} = 0$ $\tau_{i,3} = 0$

Рис. 1.10. К примеру 1.4.

Процесс распространения переносов прекращается. Полученный код $R = G_4$ изображает коды 1010 и 1000 чисел $(-j\sqrt{2})$ и $(-2j\sqrt{2})$ соответственно. Таким образом, и при $\rho = j\sqrt{2}$

процесс сложения сводится к многократному транспонированию.

Итак, умножение ГС на базисный код состоит из сложений фрагментов ГС с базисным кодом. При основании (-2) такое сложение состоит из обратного сложения и инвертирования полученного фрагмента.

1.3.2. Умножение геометрического и базисного

КОДОВ производится так, как описано выше для произвольного основания. Но, кроме того, в этом случае возможны еще некоторые модификации данной операции:

- умножение действительной части геометрического кода (ярусы с четным номером) на базисный код, заключающееся в замене только тех разрядов $\alpha_{i,k} = 1$, которые принадлежат действительным частям линейных кодов;
- умножение мнимой части геометрического кода (ярусы с нечетным номером) на базисный код, выполняемое аналогично предыдущему;
- умножение действительной и мнимой части геометрического кода одновременно на различные базисные коды.

Еще одно отличие относится только к системе кодирования 1 и состоит в следующем. В ярусах с четным номером разряды $\alpha_{i,k} = 1$ заменяются на линейные коды комплексного числа Z так, как описано выше для общего случая. В ярусах с нечетным номером разряды $\alpha_{i,k} = 1$ заменяются на линейные коды комплексного числа jZ так, как описано выше для общего случая.

Пример 1.5 умножения мнимой части геометрического кода

при $\rho = j\sqrt{2}$. Известен базисный код $K = \langle 1 + j\sqrt{2} \rangle$ или $K = 11$ и геометрический код G - см. рис. 1.11.

$m = 3\ 2\ 1\ 0\ -1$	$m = 3\ 2\ 1\ 0\ -1$
$G = 1\ 1\ 1\ 1\ 1$	$G'_0 = 1\ 1\ 1\ 1\ 1$
0	0
0 0	0 0
0	0
1 1 1	1 1 1
0	0
0 1	0 1
1	0
0 0 1 1	0 0 1 1
0	0
1 1	1 1
0	0
1 1 1	1 1 1
0	0
0 1	0 1
1	0

Рис. 1.11. К примеру 1.5.

Найдем геометрический код $R=K(JmG)$. Вначале анализируем старший нечетный (третий) ярус кода G и обнаруживаем, что $\alpha_{83} = \alpha_{163} = 1$. Выделяем коды $G_{83} = G_{163} = 1$ и G'_0 . Затем производим сложение кодов G_{83} и K , в результате чего получаем коды

$$G'_{73} = G'_{153} \begin{matrix} 0\ 0\ 1 \\ 0 \\ 0\ 1 \\ 1 \end{matrix}$$

Налагаем коды G'_0, G'_{73}, G'_{153} и получаем код G' – см. рис. 1.12.

Пропуская второй ярус (поскольку производится умножение только мнимой части), анализируем первый ярус кода G' и замечаем, что $\alpha_{21} = \alpha_{41} = 1$. Выделяем коды G'_{21}, G'_{41}, G''_0 . Затем производим сложение кодов G'_{21} и G'_{41} с кодом K и в результате получаем коды G''_{10} и G''_{20} . Налагаем, далее, эти коды на код G''_0 и получаем окончательно код R – см. рис. 1.13. Далее будет дана геометрическая интерпретация этого примера.

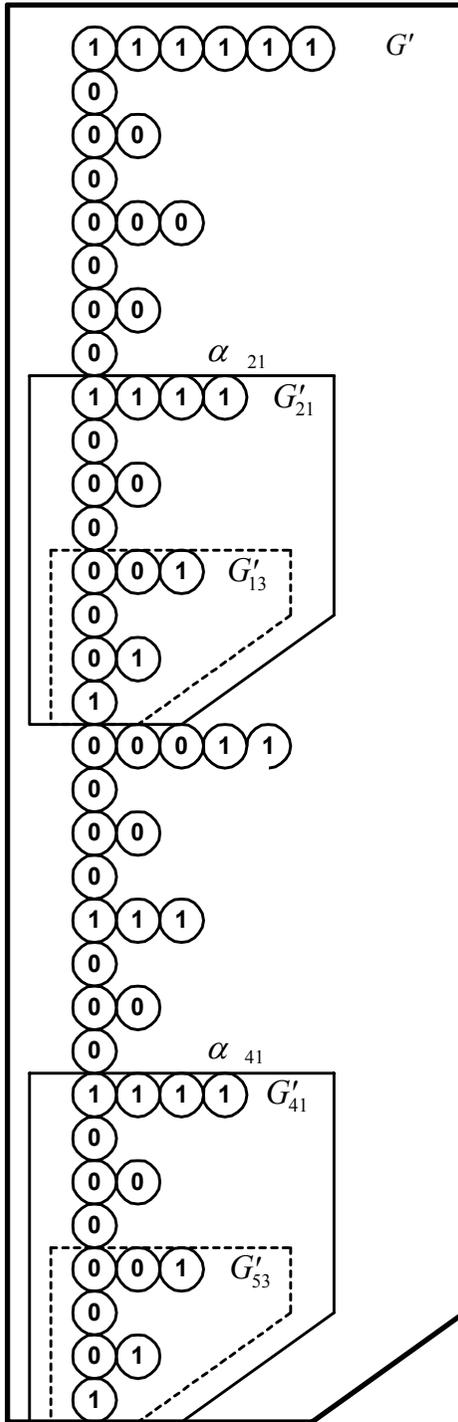


Рис. 1.12. К примеру 1.5.

$G''_0 =$	$G''_{10} =$	$G''_{20} =$	$R =$
1 1 1 1 1	0 0 0 1	0 0 0 1	1 1 1 1 1
0	0	0	0
0 0	0 0	0 0	0 0
0	0	0	0
0 0 0	0 1 1	0 1 1	0 1 1
0	1	1	1
0 0	1 1	1 1	1 1
0	0	0	0
0 0 1 1			0 0 1 1
0			0
1 1			1 1
0			0
0 0 0			0 1 1
0			1
0 0			1 1
0			0

Рис. 1.13. К примеру 1.5.

1.4. Кодирование и преобразование плоских фигур

1.4.1. Метод кодирования

При кодировании плоских фигур будем полагать, что

- на плоскости выделено N точек, распределенных равномерно с шагом Δx по x оси и Δy по оси y ;
- каждой точке может приписываться одно из двух значений - 0 или 1;
- фигура определяется подмножеством a точек, которым приписано единичное значение.

Тривиальный способ кодирования фигуры мог бы заключаться в задании пар координат x и y всех точек или кодов комплексных чисел $x+jy$, соответствующих этим точкам. Тогда различные преобразования фигур заключались бы в вычислениях с комплексными числами по некоторой программе. Однако множество a двоичных кодов комплексных чисел можно представить геометрическим кодом. Такое кодирование, во-первых,

требует меньше памяти, а, во-вторых, геометрические преобразования фигур легко интерпретируются как операции с геометрическими кодами.

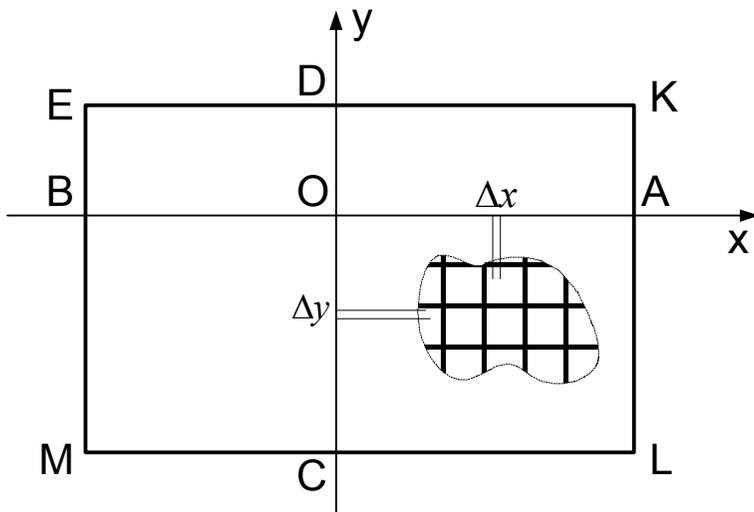


Рис. 1.14. Кодирование плоской фигуры.

Кодируемый геометрическим кодом участок плоскости имеет вид прямоугольника ЕКLM, стороны которого проходят через точки А, В, С, D перпендикулярно осям - см. рис. 1.14. В области ЕКLM выделяется $N = 2^r$ точек, каждая из которых соответствует одному из линейных кодов комплексных чисел, объединенных в геометрический код. Расстояния между этими точками определяются величинами Δx и Δy , которые зависят от m и ρ : если $(m+1)$ - четное число или 0, то $\Delta x = |\rho|^{m+1}$ и $\Delta y = \Delta x |\rho|$; в противном случае $\Delta y = |\rho|^{m+1}$ и $\Delta x = \Delta y |\rho|$. Размер и расположение кодируемой области, в свою очередь, зависит от Δx , Δy , n .

Пример 1.6 кодирования плоскости при $\rho = j\sqrt{2}$ [1, 2].

Пусть $m=-1$, $n=3$, $r=n-m+1=5$. Геометрический код для этого случая изображен на табл. 1.2, где перечислены также линейные коды, соответствующие путям в дереве геометрического кода (предполагается, что все пути открыты), и значения комплексных чисел, представленных этими кодами. В этой таблице (а также в следующей табл. 1.2а) обозначено:

- N - номер точки,
- Z - значение – комплексное число этой точки,
- L - код этого комплексного числа – линейный код,
- G - геометрический код.

На рис. 1.15 изображены точки комплексной плоскости, соответствующие этим комплексным числам. Тем самым построен участок плоскости, кодируемый данным геометрическим кодом.

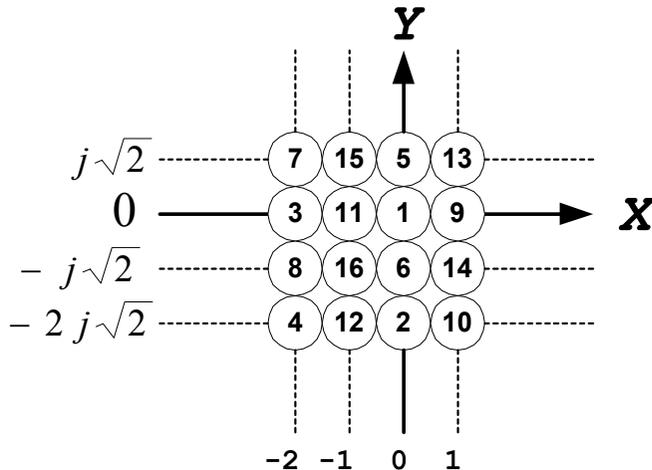


Рис. 1.15. Кодирование плоскости при $y=3, m=-1, r=4$ для примера 1.6.

Выделим на этом участке плоскости «черные» (видимые) и «белые» (невидимые) точки – см. рис. 1.15а. Геометрический код при этом будет иметь вид, приведенный на рис. 1.15в. Этот же код приведен в табл. 1.2а, где (в отличие от табл. 1.2) невидимые точки указаны без координат.

Таблица 1.2. Геометрический код плоскости при $\rho = j\sqrt{2}$.

N	Z	L	G
1	0+0	0000	11111
2	0-2j $\sqrt{2}$	1000	1
3	-2+0	0100	11
4	-2-2j $\sqrt{2}$	1100	1
5	0+j $\sqrt{2}$	0010	111
6	0-j $\sqrt{2}$	1010	1
7	-2+j $\sqrt{2}$	0110	11
8	-2-j $\sqrt{2}$	1110	1
9	1+0	0001	1111
10	1-2j $\sqrt{2}$	1001	1
11	-1+0	0101	11
12	-1-2j $\sqrt{2}$	1101	1
13	1+j $\sqrt{2}$	0011	111
14	1-j $\sqrt{2}$	1011	1
15	-1+j $\sqrt{2}$	0111	11
16	-1-j $\sqrt{2}$	1111	1

Таблица 1.2а. Геометрический код с выделенными точками плоскости при $\rho = j\sqrt{2}$.

N	Z	L	G
1	0+0	0000	11111
2			0
3	-2+0	0100	11
4			0
5			001
6			0
7			01
8	-2-j $\sqrt{2}$	1110	1
9			0111
10	1-2j $\sqrt{2}$	1001	1
11			01
12	-1-2j $\sqrt{2}$	1101	1
13	1+j $\sqrt{2}$	0011	111
14			0
15	-1+j $\sqrt{2}$	0111	11
16			0

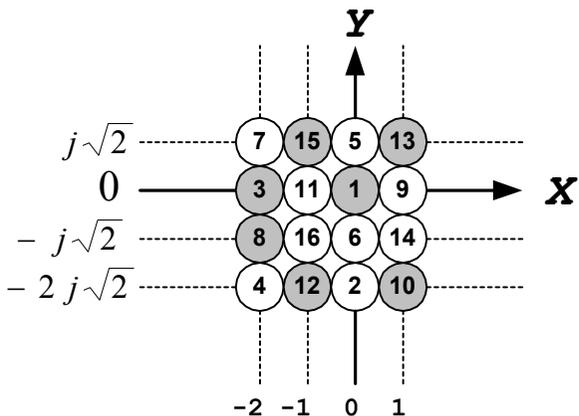


Рис 1.15а. Пример: плоская фигура.

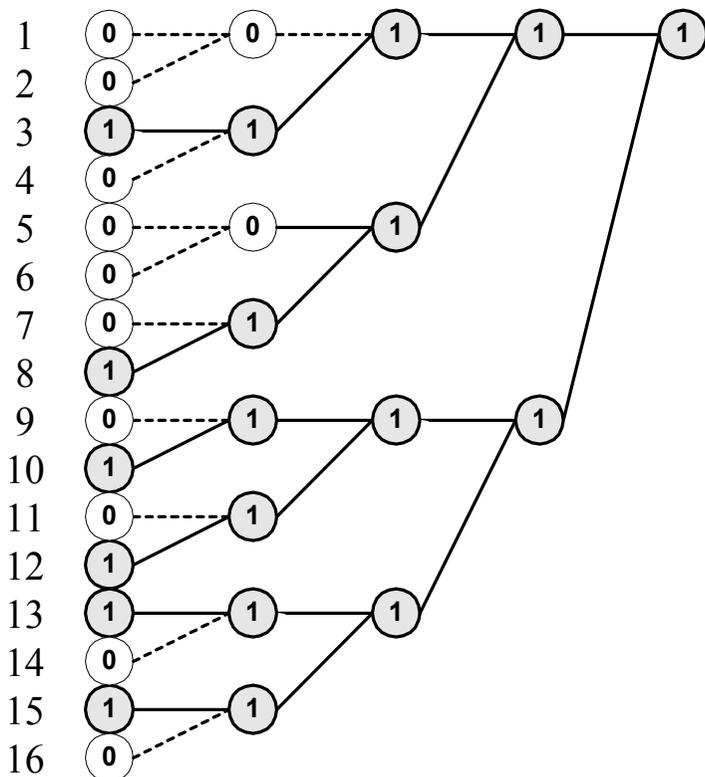


Рис 1.15b. Пример: дерево GC плоской фигуры.

Пусть $t=x+jy$ - произвольная точка плоскости, представленная линейным кодом в геометрическом коде по основанию $\rho = j\sqrt{2}$ [1, 2], а $b=|b|e^{j\varphi}=(c+jd)$ - комплексное число, представленное базисным кодом по тому же основанию. Рассмотрим те геометрические преобразования, которые эквивалентны арифметическим операциям между числами t и b .

1.4.2. Перенос

Перенос фигур по лучу $e^{j\varphi}$ на $|b|$ единиц эквивалентен операции $t+b$, т.е. сложению геометрического и базисного кодов.

1.4.3. Центроаффинное преобразование

Центроаффинное преобразование соответствует умножению действительной и мнимой частей геометрического кода одновременно на различные базисные коды $(c+jd)$ и $(g+jh)$ (покомпонентное умножение). Эту операцию описывает формула $z+jv=x(c+jd)+jy(g+jh)$ - здесь точка (x, y) переходит в точку (z, v) . В частных случаях центроаффинное преобразование превращается в поворот, расширение, сдвиг (но не ранее рассмотренный перенос) или некоторую комбинацию этих преобразований.

1.4.4. Аффинное преобразование

Аффинное преобразование является произведением центроаффинного преобразования и переноса и выполняется в два этапа:

1. покомпонентное умножение геометрического кода на пару базисных кодов центроаффинного преобразования,
2. сложение геометрического кода - результата предыдущей операции с базисным кодом переноса.

Пример 1.7 центроаффинного преобразования при

$\rho = j\sqrt{2}$ - см. рис 1.16 и табл. 1.3. Здесь обозначено:

i - номер точки,

a_i - точка исходной фигуры,

b_i - точка преобразованной фигуры,

$L(a_i)$ - линейный код точки a_i ,

$L(b_i)$ - линейный код точки b_i .

Рассмотрим фигуру, определяемую 6-ю точками a_i . Произведем центроаффинное преобразование этой фигуры так, чтобы точки

$a_i = (x_i + jy_i)$ перешли в точки b_i , причем $b_i = (x_i + jy_i(1 + j\sqrt{2}))$. Это центроаффинное преобразование эквивалентно сдвигу фигуры по горизонтали на угол $\Psi = 55^\circ$ ($\text{tg}\Psi = \sqrt{2}$). Все коды чисел a_i изображаются единым геометрическим кодом \mathbf{G} исходной фигуры.

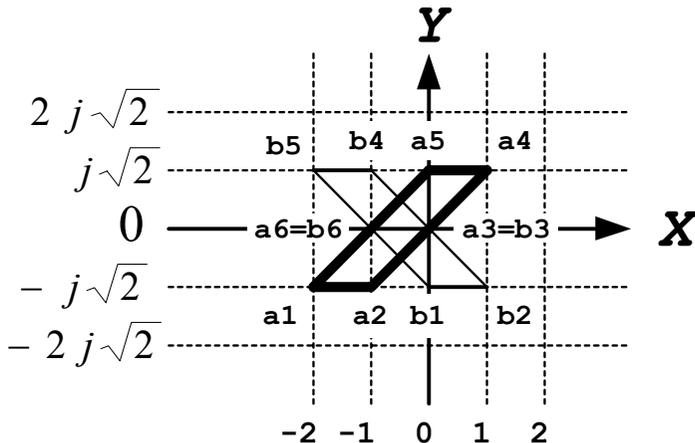


Рис. 1.16. Центроаффинное преобразование фигуры для примера 1.7

Таблица 1.3. Центроаффинное преобразование фигуры при $\rho = j\sqrt{2}$

N	a_i	$L(a_i)$	b_i	$L(b_i)$
1	$2-j\sqrt{2}$	1110	$0-j\sqrt{2}$	1010
2	$-1-j\sqrt{2}$	1111	$1-j\sqrt{2}$	1011
3	0+0	0000	0+0	0000
4	$1+j\sqrt{2}$	0011	$-1+j\sqrt{2}$	0111
5	$0+j\sqrt{2}$	0010	$-2+j\sqrt{2}$	0110
6	$-1+0$	0101	$-1+0$	0101

Указанное центроаффинное преобразование этой фигуры эквивалентно умножению мнимой части геометрического кода \mathbf{G} на базисный код $K=0011$ числа $(1 + j\sqrt{2})$. Такое умножение выполнено в примере 1.5. В результате образуется геометрический код \mathbf{R} . Декодируя код \mathbf{R} , находим, что он объединяет линейные коды точек b_i деформированной фигуры.

1.5. Кодирование и преобразование пространственных фигур.

В этом разделе будем полагать, что в качестве линейных кодов при построении геометрического кода используются линейные коды по основанию $\rho = j\sqrt[3]{2}$ [1, 2]. Арифметические операции с геометрическими кодами по такому основанию во многом аналогичны операциям с геометрическими кодами по основанию

$\rho = j\sqrt{2}$. Отличие заключается в том, что

- сложение кодов векторов эквивалентно сложению *трех* компонент,
- покомпонентное умножение геометрического и базисного кодов состоит в умножении каждой из *трех* компонент линейных кодов на различные базисные коды.

При кодировании трехмерных фигур будем полагать, что

- в трехмерном пространстве выделено N точек, распределенных равномерно с шагом Δx , Δy , Δz по осям прямоугольной системы координат;
- каждой точке может приписываться одно из двух значений - 0 или 1;
- фигура определяется подмножеством a точек, которым приписано единичное значение.

Если m - номер младшего яруса, n - номер старшего яруса, $r=(n-m+1)$ - количество ярусов геометрического кода, то

- количество точек, выделенных в кодируемом участке пространства, $N = 2^r$;
- при $(m+1)=3t$ (t -целое число) шаги по осям координат $\Delta x = |\rho|^{m+1}$, $\Delta y = \Delta x|\rho|$, $\Delta z = \Delta y|\rho|$;
- кодируемый участок пространства имеет вид параллелепипеда, грани которого параллельны координатным плоскостям.

Пусть U_1 - вектор произвольной точки трехмерной фигуры. Тогда по аналогии с предыдущим получаем, что

- сложение геометрического кода и базисного кода вектора U_5 эквивалентно сложению кодов U и U_5 , т.е. *переносу* фигуры на вектор U_5 ;

- покомпонентное умножение геометрического кода на упорядоченную тройку векторов U_2, U_3, U_4 эквивалентно аналогичной операции с каждым из векторов U_1 и состоит в вычислении вектора U по формуле $U = x_1 i * U_2 + y_1 j * U_3 + z_1 k * U_4$, т.е. эквивалентно *центроаффинному преобразованию*.

Аффинное преобразование является произведением центроаффинного преобразования и переноса и выполняется в два этапа:

1. покомпонентное умножение геометрического кода на тройку базисных кодов центроаффинного преобразования,
2. сложение геометрического кода - результата предыдущей операции с базисным кодом переноса.

В частных случаях это преобразование эквивалентно переносу, повороту, сжатию, сдвигу фигуры, векторному умножению всех векторов фигуры на базисный вектор и т.п. преобразованиям фигуры.

Аналогично кодам трехмерных фигур могут быть построены геометрические коды многомерных фигур, поскольку, как показано выше, в кольце многомерных векторов также существует позиционная система счисления двоичных кодов. Таким образом, геометрическим кодом можно закодировать многомерную фигуру и выполнять с ним аффинные преобразования этой фигуры. Последнее обстоятельство удобно использовать, например, при построении устройств для распознавания образов, поскольку признаки распознаваемых объектов часто инвариантны к определенному типу геометрических преобразований.

2. Атрибутные геометрические коды

2.1. Структура данных

Как следует из предыдущего, операции с PGC требуют многократного транспонирования. Схемы для выполнения транспонирования должны иметь большой объем, так как каждый разряд PGC при транспонировании может поменяться местами с любым разрядом своего яруса.

Рассмотрим модификацию PGC, свободную от этого недостатка и назовем ее атрибутивным GC - **AGC** (в данном разделе прилагательное «атрибутивный» будет опускаться, если из контекста ясно, что речь не идет о первичном GC). Для каждой пары разрядов $\beta_{2i-1,k}$, $\alpha_{2i,k}$ в AGC включен дополнительный разряд $\gamma_{i,k}$, который является счетчиком по модулю 2 сигналов транспонирования $\tau_{i,k}$. При нулевом значении разрядов $\gamma_{i,k}$ (транспонирования не было или оно выполнялось четное число раз) коды PGC и AGC идентичны: каждому пути в дереве геометрического кода соответствует линейный код, в котором “1” стоит на месте α -разряда и “0” - на месте β -разряда. Если же значения разрядов $\gamma_{i,k} = (0,1)$, то линейный код, соответствующий данному пути в дереве AGC, определяется следующим образом: на месте $\alpha_{2i,k}$ -разряда стоит величина $\bar{\gamma}_{i,k}$, а на месте $\beta_{2i-1,k}$ -разряда - величина $\gamma_{i,k}$. Напомним, что значения разрядов α и β определяют лишь то, что путь в дереве геометрического кода открыт (или закрыт) и соответствующий линейный код включен (или не включен) в кодируемое множество линейных кодов.

Основное различие между PGC и AGC заключается в следующем. Пусть некоторому вектору X соответствует p -путь. При операции с геометрическим кодом величина этого вектора меняется на Y . В PGC после выполнения операции этому вектору будет соответствовать q -путь. Таким образом, местоположение вектора в PGC зависит от его величины. В отличие от этого, в AGC данному вектору всегда соответствует один и тот же путь. Можно сказать, что вектор (и соответствующая ему точка в пространстве), *сохраняет свою*

индивидуальность вне зависимости от изменения величины этого вектора (местоположения точки). При этом точке можно присвоить атрибут, которым может быть имя, цвет, вес и т.п. Этот атрибут должен быть связан с терминальной вершиной того пути, где записан линейный код данного вектора (точки).

Рассмотрим изложенное более формально. Некоторому открытому пути в дереве АГС соответствует последовательность разрядов $\alpha=1, \beta=1, \gamma=(0,1)$:

$$\alpha_{p,n} \dots \beta_{2j-1,q} \dots \alpha_{2i,k} \dots \beta_{1,m}$$

$$\gamma_{p/2,n} \dots \gamma_{j,q} \dots \gamma_{i,k},$$

Этот путь изображает линейный код

$$\bar{\gamma}_{p/2,n} \dots \gamma_{j,q} \dots \bar{\gamma}_{i,k},$$

который будем называть кодом значения или, просто, значением данного пути. В этом пути пара разрядов $\alpha_{2i,k}, \gamma_{i,k}$ изображается разрядом $\bar{\gamma}_{i,k}$ значения, а пара разрядов $\beta_{2i-1,k}, \gamma_{i,k}$ изображается разрядом $\gamma_{i,k}$ значения.

При $\gamma \equiv 0$ для всех разрядов данного пути линейный код принимает значение

$$1 \dots 0 \dots 1 \dots 0,$$

которое будем называть кодом номера или, просто, номером данного пути. В этом коде “1” стоит на месте α -разряда и “0” - на месте β -разряда. Таким образом, в АГС каждый путь имеет номер, значение и атрибут.

На рис. 2.1 представлен АГС. Количество разрядов АГС определяется по следующей формуле:

$$V = 1 + 3 \sum_{k=0}^{n-m} 2^k = 3 \cdot 2^{n-m} - 2 \cdot$$

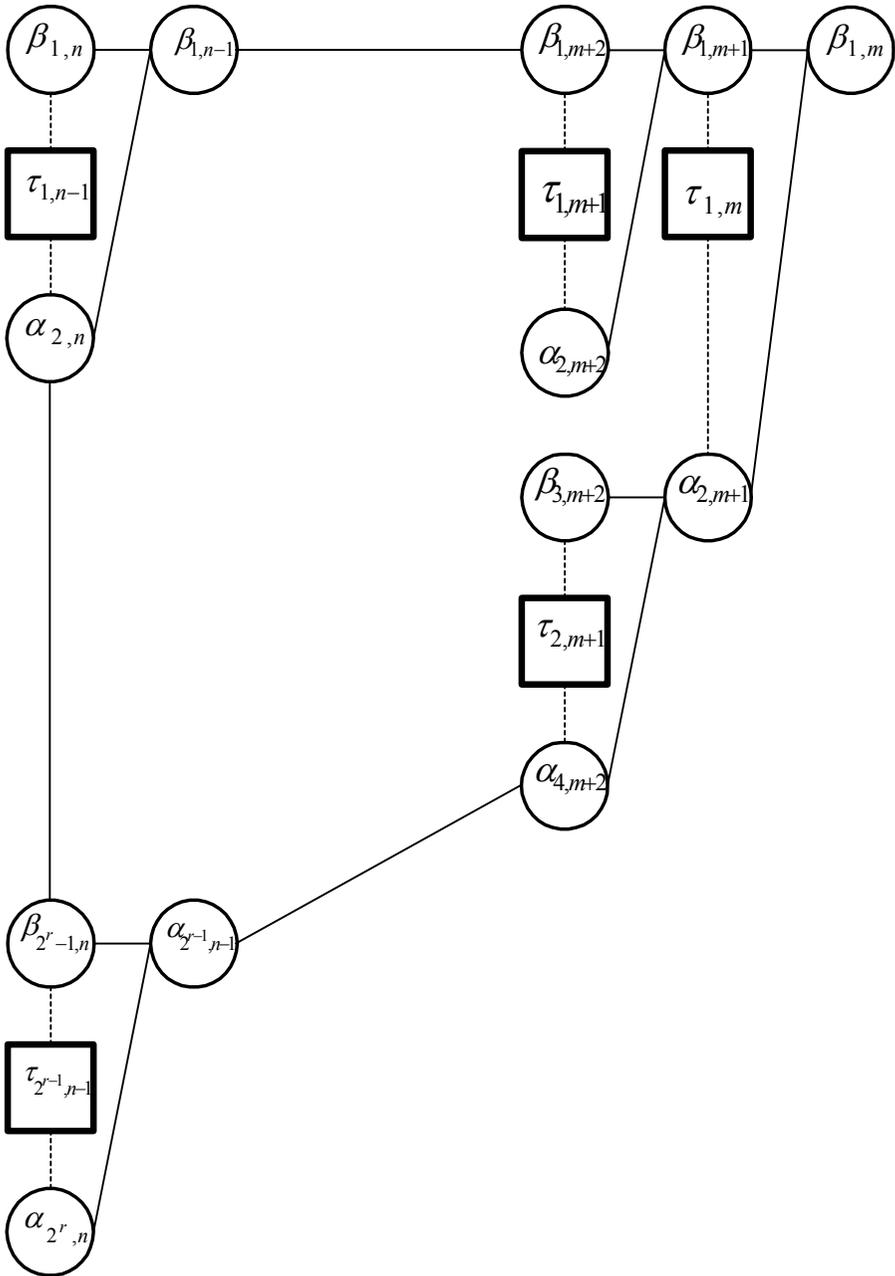


Рис. 2.1. Атрибутный геометрический код.

2.2. АГС по действительному основанию

Рассмотрим операции между базисным кодом и АГС по действительному основанию. При этом будем использовать обозначения из раздела 1.2.1.

2.2.1. Запись данного номера.

В этом случае в АГС формируется путь с номером, равным базисному коду δ . В том случае, когда все разряды $\gamma = 0$, код значения совпадает с кодом номера. Процесс определяется следующими формулами:

$$\mu = \pi \wedge \overline{\delta}, \quad \eta = \pi \wedge \delta.$$

При $\mu=1$ разряд β принимает значение “1” вне зависимости от его прежнего значения. Аналогично, при $\eta=1$ разряд α принимает значение “1”.

2.2.2. Запись данного значения.

Табл. 2.1 описывает процесс распространения переноса при записи в АГС значения, имеющего базисный код δ . Переносы определяются следующими формулами:

$$\mu = \pi \wedge (\overline{\delta \oplus \gamma}), \quad \eta = \pi \wedge (\delta \oplus \gamma).$$

Таблица 2.1. Запись значения с данным кодом.

π	δ	γ	μ	η
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	0

При $\mu=1$ разряд β принимает значение “1” вне зависимости от его прежнего значения. Аналогично, при $\eta=1$ разряд α принимает значение “1”. Таким образом либо формируется новый путь и в него записывается данное значение, либо обнаруживается путь, в котором записано данное значение. В этом случае выполняется **поиск адреса данного значения.**

2.2.3. Чтение значения пути с данным номером.

Пусть открытый путь ($\beta \equiv 1$ и $\alpha \equiv 1$) имеет номер с линейным кодом δ . Процесс распространения переноса при чтении значения этого пути описывается табл. 2.2. В ней ω - соответствующий разряд линейного кода значения этого пути. Сигнал ω вырабатывается в том разряде α или β , через который прошел сигнал переноса. Итак,

$$\mu = \pi \wedge \bar{\delta}, \quad \eta = \pi \wedge \delta, \quad \omega = (\mu \wedge \gamma) \vee (\eta \wedge \bar{\gamma}).$$

Таблица 2.2. Чтение значения пути с данным номером

π	δ	γ	μ	η	ω
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	1
1	1	1	0	1	0

2.2.4. Сложение AGC с базисным кодом при $\rho=2$

описывается табл. 2.3. Сигналы переносов μ , η и сигнал транспонирования τ вырабатываются, как функции от π , δ , γ . После этого сигнал $\tau=1$ изменяет значение γ на противоположное, а сигналы μ и η распространяются дальше (если $\beta=1$ и $\alpha=1$ соответственно).

Таблица 2.3. Сложение AGC с базисным кодом при $\rho=2$

π	γ	δ	μ	η	τ
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0

2.1 $\rho=2$. Пусть, как и в примере 1.1, базисный код $K=\langle 2 \rangle$ или $K=10$, а атрибутный геометрический

код G изображает множество линейных кодов {1100, 0010, 1010, 0110} или, что одно и то же, множество чисел {12, 2, 10, 6}.

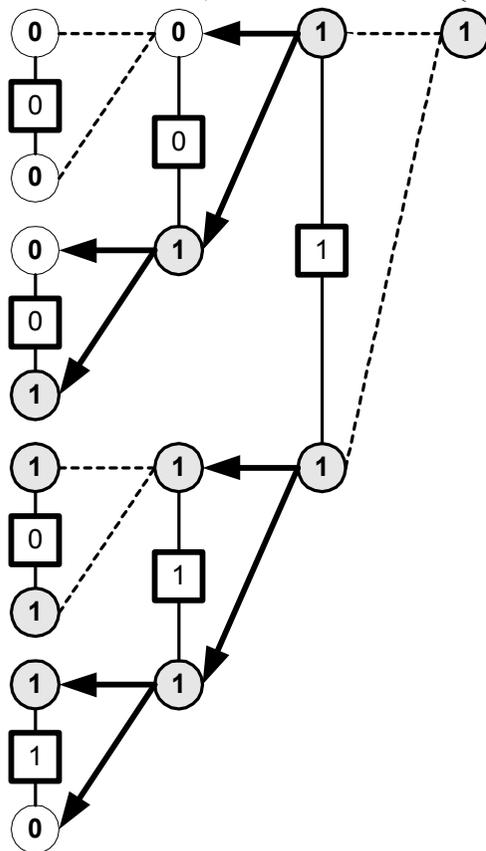


Рис. 2.2. К примеру 2.1.

Результирующий атрибутный геометрический код $R = G + K$. На рис. 2.2 изображен код R . Толстыми стрелками указаны связи, по которым распространялся перенос $\pi=1$ при сложении. В квадратных окнах изображены разряды γ . Они относятся к той паре разрядов α и β , которые помещены в круглые окна, сопряженные с данным квадратным окном. Если все разряды γ обнулить, то тот же рисунок будет изображать исходный код G - сравни с геометрическим кодом G_1 в примере 1.1. Таким образом, результат отличается от исходного кода только значениями разрядов γ . Заметим, что если выполнить транспонирование в соответствии со значениями разрядов γ , то образуется геометрический код G_4 результата, приведенный в примере 1.1.

2.2.5. Обратное сложение АГС с базисным кодом при $\rho=-2$ описывается табл. 2.3а. Сигналы переносов μ , η и сигнал транспонирования τ вырабатываются, как функции от π , δ , γ . После этого сигнал $\tau=1$ изменяет значение γ на противоположное, а сигналы μ и η распространяются дальше (если $\beta=1$ и $\alpha=1$ соответственно).

Таблица 2.3а. Обратное сложение АГС с базисным кодом при $\rho=-2$

π	γ	δ	μ	η	τ
0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

Пример 2.2 обратного сложения при $\rho=-2$.

Пусть, как и в примере 1.2, базисный код $\mathbf{K}=\langle 2 \rangle$ или $\mathbf{K} = 110$, а атрибутивный геометрический код \mathbf{G} изображает множество линейных кодов {0000, 0100, 0010, 0110 } или, что одно и то же, множество чисел {0, 4, -2, 2}. Результирующий атрибутивный геометрический код $\mathbf{R}=-\mathbf{G}\cdot\mathbf{K}$. На рис. 2.3 изображен код \mathbf{R} . Толстыми стрелками указаны связи, по которым распространялся перенос $\pi=1$ при сложении. В квадратных окнах изображены разряды γ . Они относятся к той паре разрядов α и β , которые помещены в круглые окна, сопряженные с данным квадратным окном. Если все разряды γ обнулить, то тот же рисунок будет изображать исходный код \mathbf{G} - сравни с геометрическим кодом \mathbf{G}_1 в примере 1.2. Таким образом, результат отличается от исходного кода только значениями разрядов γ . Заметим, что если выполнить транспонирование в соответствии со значениями разрядов γ , то образуется геометрический код \mathbf{G}_4 результата, приведенный в примере 1.2.

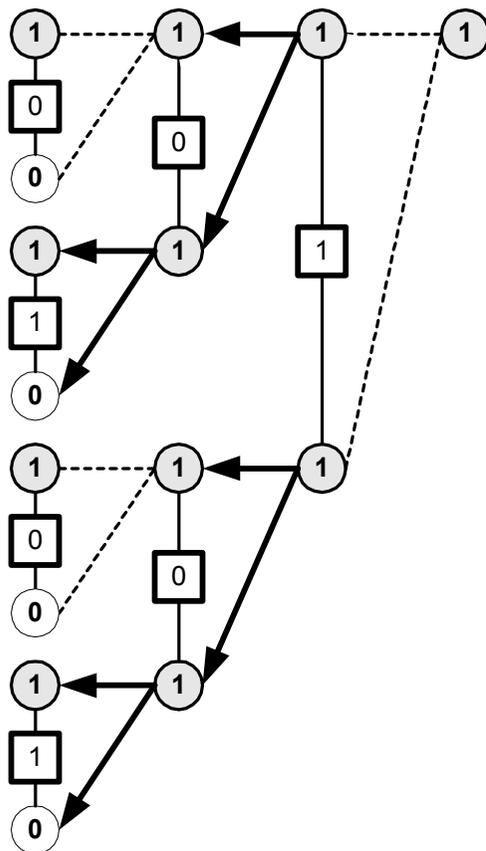


Рис. 2.3. К примеру 2.2.

Рассмотрим схему для формирования сигналов переносов μ , η и сигнала транспонирования τ в рассматриваемом сумматоре - см. рис. 2.3а. На этой схеме

- π - сигнал входного переноса,
- μ , η - сигналы выходных переносов,
- β - триггер разряда β ,
- α - триггер разряда α ,
- γ - триггер разряда γ ,
- δ - триггер разряда δ базисного кода,
- τ - триггер сигнала транспонирования τ ,
- Sum - одноразрядная схема обратного сложения,
- And - ключ сигнала транспонирования τ ,
- R - сигнал разрешения транспонирования.

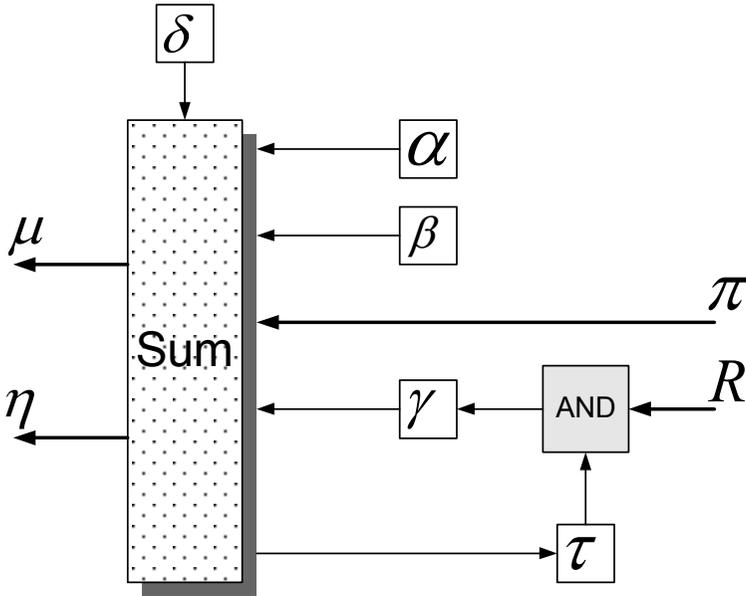


Рис. 2.3а. Однорядная схема обратного сложения

Эта схема охватывает тройку разрядов геометрического кода и вырабатывает сигналы переноса в две следующих тройки разрядов геометрического кода. Сигнал разрешения транспонирования является общим для всех разрядов и поступает из схемы управления после окончания распространения переносов через все разряды.

2.2.6. Инвертирование АГС при $\rho=-2$.

Табл. 2.4 описывает процесс распространения переноса при инвертировании геометрического кода по основанию «-2». В ней

γ - значение разряда γ в исходном коде;

τ - сигнала транспонирования для исходном кода в результирующий код (этот код образуется в регистре исходном кода).

Таблица 2.4. Инвертирование АГС при $\rho=-2$.

π	γ	μ	η	τ
0	0	0	0	0
0	1	0	0	0
1	0	0	0	1
1	1	0	0	1

2.2.7. Алгебраическое сложение AGC распадается на операции инвертирования слагаемых и обратного сложения.

2.2.8. Поиск следующего открытого пути, его номера и его значения.

Здесь предполагается, что известный путь определен своим номером. Поиск состоит из трех последовательно выполняемых операций: 1) поиск пути с данным номером и фиксация его терминальной вершины; 2) поиск следующей терминальной вершины; 3) чтение номера и значения пути с данной терминальной вершиной.

2.2.9. Умножение AGC на базисный код.

Это умножение выполняется аналогично умножению первичного GC на базисный код – см. раздел 1.2.7. Отличие состоит в том, что анализируются разряды $\alpha=1$, если $\tau=0$, или $\beta=1$, если $\tau=1$ (а не разряды $\alpha=1$, как в первичном геометрическом коде). Это умножение выполняется по следующему алгоритму:

1. исходный геометрический код сдвигается влево на 1 разряд влево;
2. анализируется младший разряд V_j базисного кода, где $j = 1$;
3. если $V_j = 1$, то выполняется обратное сложение сдвинутого кода с исходным кодом; при этом образуется отрицательный геометрический код частичного произведения;
4. геометрический код частичного произведения сдвигается влево на 1 разряд влево;
5. анализируется следующий разряд V_j базисного кода;
6. если $V_j = 1$, и частичное произведение было положительным, то выполняется обратное сложение сдвинутого кода с исходным кодом; при этом образуется отрицательный геометрический код частичного произведения;
7. если $V_j = 1$, и частичное произведение было отрицательным, то выполняется обратное сложение сдвинутого кода с отрицательным исходным кодом; при

этом образуется положительный геометрический код частичного произведения;

8. если все разряды исчерпаны, то умножение заканчивается;
9. выполняется переход к пункту 3.

Видно, что этот алгоритм во многом аналогичен алгоритму обычного сложения. Составляющие этот алгоритм операции были рассмотрены выше. Важно отметить, что в геометрическом коде произведения **номер атрибута увеличивается в 2^n раз** по отношению к номеру атрибута исходного геометрического кода (n – разрядность базисного кода, количество сдвигов).

2.3. Атрибутные геометрические коды по комплексному основанию

В качестве основания кодирования линейных кодов могут использоваться комплексные числа [1, 2]. Аналогично этому могут быть построены атрибутные геометрические коды по комплексному основанию - **AGCC**. В отличие от предыдущего в таких кодах значением пути является линейный двоичный код по комплексному основанию. Но самое основное отличие состоит в алгоритмах арифметических операций. Рассмотрим алгоритмы арифметических операций с геометрическими кодами в системах кодирования [1, 2] по основаниям

$$\rho = \left\{ \begin{array}{l} (-2)^{m/2} \text{ if } m - \text{even} \\ j(-2)^{m-1/2} \text{ if } m - \text{odd} \end{array} \right\}; \quad \rho = \pm j\sqrt{2}.$$

В этих системах разряды, представляющие действительные и мнимые части комплексного числа, чередуются. Алгебраическое сложение каждой части выполняется независимо по правилам алгебраического сложения кодов действительных чисел по основанию «-2». Поэтому в дальнейшем изложении можно воспользоваться результатами предыдущего раздела. Некоторые операции вовсе не зависят от основания кодирования и они здесь не рассматриваются.

2.3.1. Обратное сложение AGCC с базисным кодом

Эта операция описывается табл. 2.3. Сигналы переносов μ , η и сигнал транспонирования τ вырабатываются, как функции от π , δ , γ . После этого сигнал $\tau=1$ изменяет значение γ на противоположное, а сигналы μ и η распространяются дальше (если $\beta=1$ и $\alpha=1$ соответственно). Эти сигналы передаются через один ярус. Схема их распространения представлена на рис. 2.4.

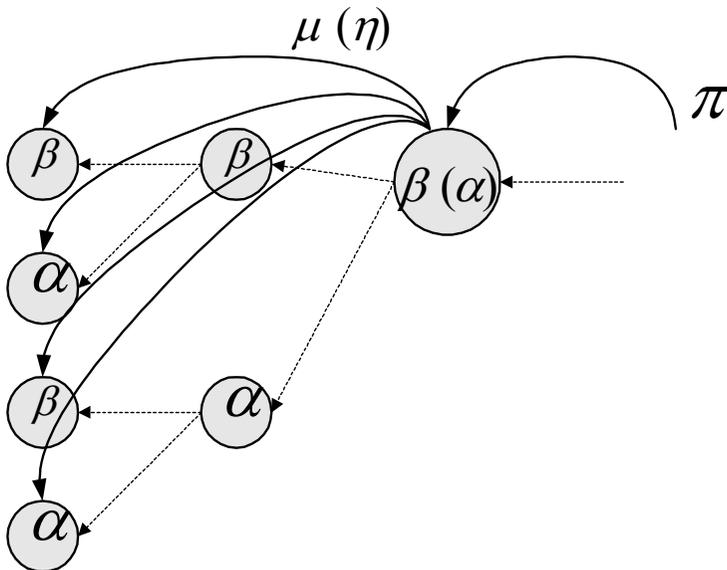


Рис. 2.4. Схема распространения переносов в комплексном GC

2.3.2. Инвертирование AGCC.

Эта операция производится аналогично тому, как описано в предыдущем разделе для кодов по основанию «-2».

2.3.3. Центраффинное преобразование AGCC.

Эта операция эквивалентна центраффинному преобразованию фигуры и выполняется по формуле

$$S = \text{Re } G \cdot Z' + \text{Im } G \cdot Z'',$$

где

G - исходный геометрический код,

S - результирующий геометрический код,

Z', Z'' - два линейных кода (комплексные числа).

Это умножение выполняется аналогично умножению первичного GC на базисный код – см. раздел 1.2.7. Отличие состоит в том, что анализируются разряды $\alpha=1$, если $\tau=0$, или $\beta=1$, если $\tau=1$ (а не разряды $\alpha=1$, как в первичном GC). Отличие состоит в том, что переносы при обратном сложении и инвертировании тут передаются через один ярус.

Центроаффинное преобразование возможно только в том случае, если комплексные коды Z', Z'' имеют единичный младший разряд. Для приведения к такому случаю эти коды должны быть преобразованы по формуле $Z \Rightarrow -\rho \cdot Z + 1$. Результирующий код после этого должен быть сдвинут на 1 разряд влево.

Укажем некоторые частные случаи:

- при $Z = Z' = Z''$ имеем обычное умножение:
 $S = G \cdot Z$,
- при $Z = Z' = Z'' = j$ имеем поворот на 90 градусов:
 $S = G \cdot j$,
- при $Z = Z' = Z'' = -j$ имеем поворот на (-90) градусов: $S = -G \cdot j$.

Последние две операции очень упрощаются в системе кодирования 1, когда код числа j имеет вид «10».

Пример 2.3 центроаффинного преобразования при

$\rho = j\sqrt{2}$. Рассмотрим этот пример центроаффинного преобразования AGC по аналогии с примером 1.7 центроаффинного преобразования GC. Рассмотрим фигуру 6-ю точками a_i - см. рис. 1.16 и табл. 1.3. Произведем центроаффинное преобразование этой фигуры так, чтобы точки $a_i = (x_i + jy_i)$ перешли в точки b_i , причем $b_i = (x_i + jy_i(1 + j\sqrt{2}))$. Это центроаффинное преобразование эквивалентно сдвигу фигуры по горизонтали на угол $\Psi = 55^\circ$ ($tg\Psi = \sqrt{2}$). Все коды чисел a_i изображается единым AGC исходной фигуры. Этот код изображен на рис. 2.5

и объединяет точки исходной фигуры. В этом коде все разряды $\tau=0$. Декодируя этот код, можно убедиться, что линейные коды всех открытых путей имеют значение a_i , указанное в табл. 1.3. Код точки a_i для каждого открытого пути обозначен на рис. 2.5 напротив соответствующей терминальной вершины.

Указанное центроаффинное преобразование этой фигуры эквивалентно умножению мнимой части АГС на базисный код $K=0011$ числа $(1 + j\sqrt{2})$. В результате образуется АГС деформированной фигуры. Этот код изображен на рис. 2.6 и объединяет точки деформированной фигуры. Код точки каждого открытого пути изменяется, но положение этого пути сохраняется – сравни рис. 2.5 и рис. 2.6. В АГС деформированной фигуры НЕ все разряды $\tau=0$. Декодируя этот код, можно убедиться, что линейные коды всех открытых путей имеют значение b_i , т.е. он объединяет линейные коды точек b_i деформированной фигуры. Код точки b_i для каждого открытого пути обозначен на рис. 2.6 напротив соответствующей терминальной вершины.

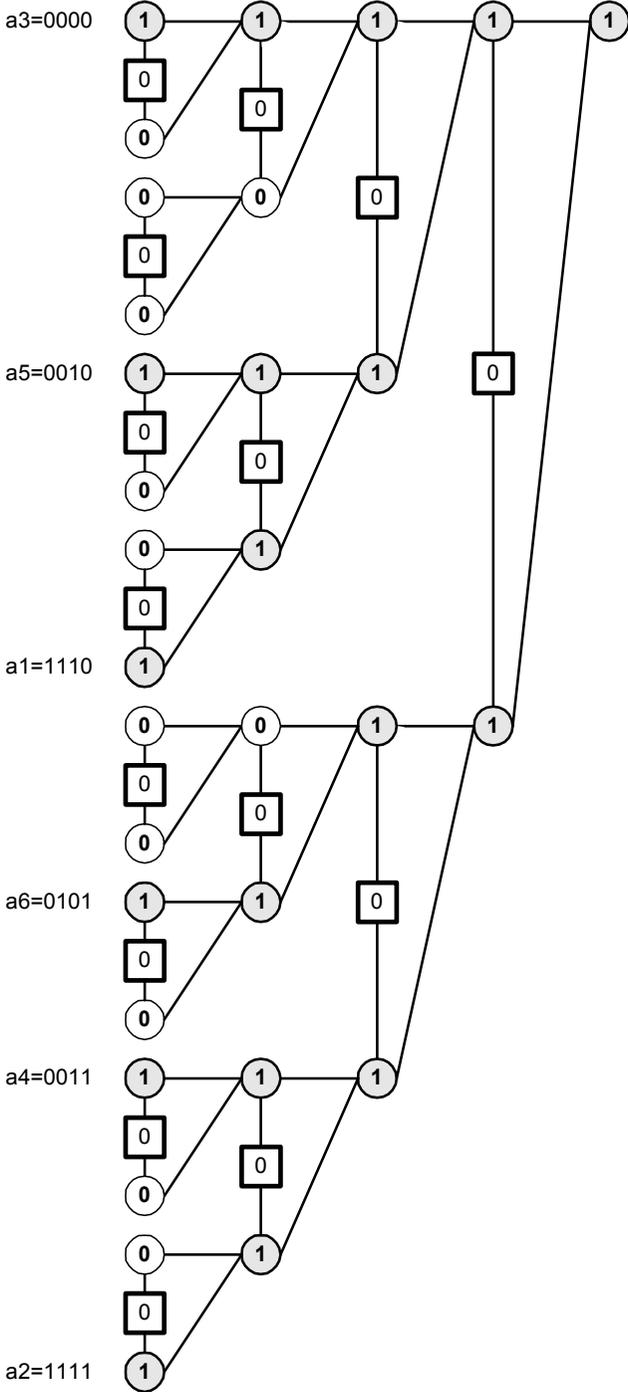


Рис. 2.5. К примеру 2.3: АГС исходной фигуры.

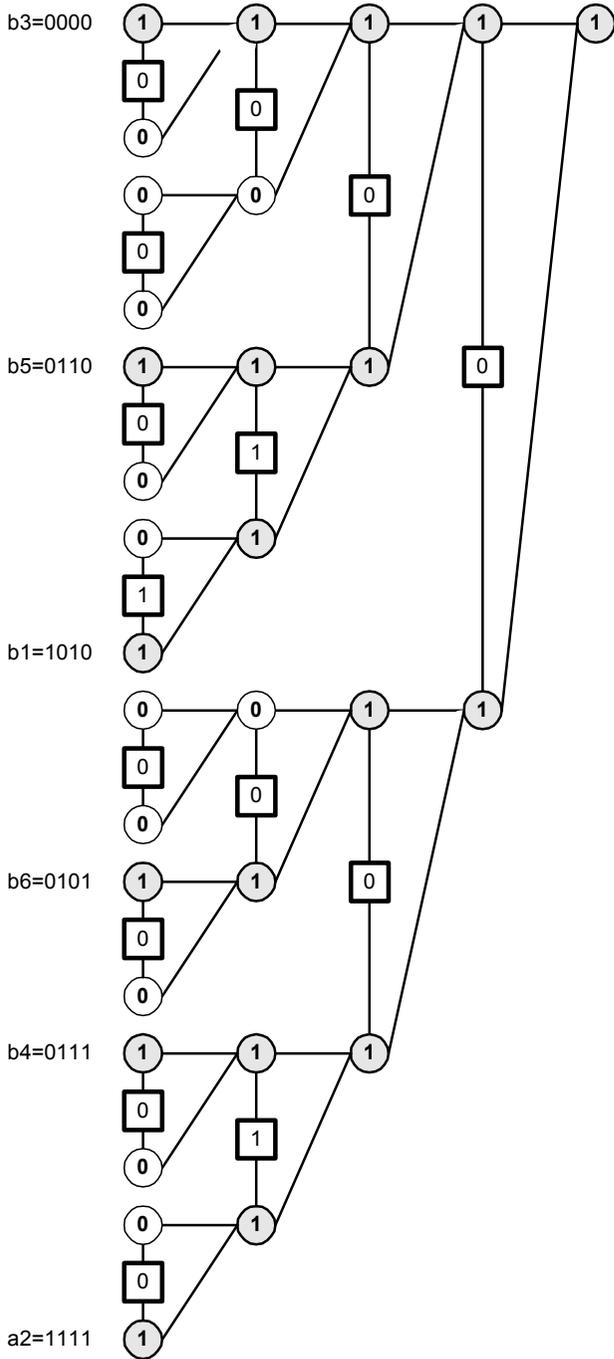


Рис. 2.6. К примеру 2.3: АГС деформированной фигуры

2.4. Атрибутные геометрические коды пространственных фигур

Атрибутные геометрические коды по комплексному основанию, рассмотренные выше, представляют плоские фигуры. Эти коды могут быть использованы для аффинных преобразований плоских фигур. В общем случае необходимо выполнять еще и проективные преобразования плоских фигур, а также аффинные и проективные преобразования пространственных фигур. Как известно, для проективных преобразований применяются однородные координаты. При этом точка на плоскости представляется тремя координатами, а точка в трехмерном пространстве – четырьмя координатами. При таком представлении проективное преобразование плоской фигуры включает аффинное преобразование трехмерной фигуры, а проективное преобразование трехмерной фигуры включает аффинное преобразование четырехмерной фигуры.

Таким образом, атрибутные геометрические коды плоских, трехмерных и четырехмерных фигур, с которыми выполнимы аффинные преобразования, могут быть использованы для решения всех задач геометрического преобразования. Для синтеза таких кодов применяется метод позиционного кодирования пространственных векторов [1, 2]. Этот метод, аналогично методу кодирования комплексных чисел, позволяет представить пространственный вектор единым двоичным кодом. Кроме того, этот метод позволяет выполнять алгебраическое сложение и умножение таких кодов.

Линейные двоичные коды векторов могут быть объединены в ГС. При этом образуется ГС трехмерной или четырехмерной фигуры. Арифметические операции с таким ГС полностью аналогичны операциям с ГС плоской фигуры. Схемы для сложения отличаются только тем, что переносы распространяются через 2 или 3 яруса (для трехмерной или четырехмерной фигуры соответственно).

Центроаффинное преобразование геометрического кода в общем случае выполняется по формуле

$$S = \text{part1}(G) \cdot Z_1 + \text{part2}(G) \cdot Z_2 + \text{part3}(G) \cdot Z_3 + \text{part4}(G) \cdot Z_4$$

где

G - исходный геометрический код,
 S - результирующий геометрический код,
 part_p – одна из частей кода G ,
 Z_p - линейные коды (векторы),
 $p = \{1, 2, 3, 4\}$,
 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}, \mathbf{m}$ – орты векторного пространства,
 $h \geq 0$ - целое,
 r = номер яруса.

Как обычно, центраффинное преобразование состоит в замене разрядов $\alpha_r = 1$ на линейные коды Z_p . При способе 2 кодирования векторов (см. в [1]) код замены Z выбирается следующим образом:

для трехмерных векторов

$$\begin{aligned}
 Z &= Z_1, & \text{if } r &= 3h+1, \\
 Z &= Z_2, & \text{if } r &= 3h+2, \\
 Z &= Z_3, & \text{if } r &= 3h+3;
 \end{aligned}$$

для четырехмерных векторов

$$\begin{aligned}
 Z &= Z_1, & \text{if } r &= 4h+1, \\
 Z &= Z_2, & \text{if } r &= 4h+2, \\
 Z &= Z_3, & \text{if } r &= 4h+3, \\
 Z &= Z_4, & \text{if } r &= 4h+4.
 \end{aligned}$$

При способе 1 кодирования векторов (см. в [1]) код замены Z выбирается следующим образом:

для трехмерных векторов

$$\begin{aligned}
 Z &= Z_1, & \text{if } r &= 3h+1, \\
 Z &= \mathbf{j} \cdot Z_2, & \text{if } r &= 3h+2, \\
 Z &= \mathbf{k} \cdot Z_3, & \text{if } r &= 3h+3;
 \end{aligned}$$

для четырехмерных векторов

$$\begin{aligned} Z &= Z_1, & \text{if } r &= 4h+1, \\ Z &= j \cdot Z_2, & \text{if } r &= 4h+2, \\ Z &= k \cdot Z_3, & \text{if } r &= 4h+3, \\ Z &= m \cdot Z_3, & \text{if } r &= 4h+4. \end{aligned}$$

2.5. Сокращенные атрибутные геометрические коды

Выше рассматривались AGC, в которых пути могли быть открытыми или закрытыми. При этом значения разрядов $\alpha=1$ (или 0) и $\beta=1$ (или 0) определяют лишь то, что путь в дереве геометрического кода открыт (или закрыт) и соответствующий линейный код включен (или не включен) в кодируемое множество линейных кодов. Рассмотрим теперь случай, когда все линейные коды данной разрядности включены в кодируемое множество. При этом все $\alpha=1$ и все $\beta=1$. В таком случае нет необходимости реально включать эти разряды в геометрический код. Во всех манипуляциях с AGC можно предполагать, что все $\alpha=1$ и все $\beta=1$. AGC без разрядов будем называть сокращенным AGC - **CAGC**.

На рис. 2.7 представлен сокращенный AGC. Разряды, реально отсутствующие, обозначены пунктиром. Количество разрядов сокращенного AGC определяется по следующей формуле:

$$V = \sum_{k=0}^{n-m} 2^k = 2^r - 1.$$

Каждой терминальной вершине $\tau_{k,n-1}$ дерева сокращенного AGC соответствует два атрибута – верхний, соответствующий мнимой вершине $\beta_{k,n}$, и нижний, соответствующий мнимой вершине $\alpha_{k+1,n}$.

Очевидно, в сокращенном AGC операционные схемы существенно сокращаются, а его объем сокращается в три раза. Точнее, если в обычном AGC количество разрядов

$$V = 3 \cdot 2^r - 2,$$

то в сокращенном GC количество разрядов

$$V = 2^r - 1.$$

Литература

1. С. Хмельник. Позиционное кодирование комплексных чисел и векторов, «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2006, вып. №4.
2. Хмельник С. И. Кодирование комплексных чисел и векторов. Теория, аппаратура, моделирование. Изд. «Mathematics in Computers», Израиль, 2006, Printed in United States of America, Lulu Inc., ID 560836, <http://www.lulu.com/content/560836>.
3. Хмельник С.И., Кодирование плоских фигур. Автоматика и вычислительная техника, АН СССР, 1970, №6.
4. Хмельник С.И., Алгебра многомерных векторов и кодирование пространственных фигур. Автоматика и вычислительная техника, АН СССР, 1971, №1.
5. Хмельник С.И., Быстродействующие поисковые процедуры. Третий международный симпозиум по теории информации, часть II, Таллин, 1973.
6. Хмельник С.И., Многокритериальная задача о назначениях. Изв.АН СССР, Техническая кибернетика, №4, 1977.
7. Хмельник С.И., Поисковые процедуры с геометрическими кодами, ж. "Кибернетика", АН УССР, 1990, №6.
8. Хмельник С.И., Цифровое устройство для геометрических преобразований изображения. Авт. св. 333573, 1972, БИ-11
9. Хмельник С.И., Устройство для геометрических преобразований изображения. Авт. св. 1030816, БИ-27, 1983.
10. S. Khmelnik. Method and System for Processing Geometrical Figures. International patent application under PCT. PCT/CA02/00835, WO 02 099625 A2. Priority 07.06.01.
11. Хмельник С. И. Компьютерная арифметика геометрических фигур. Алгоритмы и аппаратура. Изд. «Mathematics in Computers», Израиль, 2004, Printed in United States of America, Lulu Inc., ID 71555, <http://www.lulu.com/content/71555>.

Кизлов В.В.

Физические основы информационных процессов

Аннотация

Показана возможность упорядочения понятийного аппарата информатики на базе анализа физических основ информационных процессов.

Оглавление

Введение

1. Информатика

2. Информационные процессы

3. Информация

4. Количество информации

Литература

Введение

В последние годы особенно бурно развиваются исследования в области информационно-коммуникационных технологий. Причиной тому является превращение знаний в товар, причем это относится ко всем видам знаний, и декларативным (знание – что), и процедурным (знание – как). Возникла необходимость в создании эффективных технических средств ускоряющих процессы выбора, упаковки, транспортировки этого товара, а так же необходимость в создании средств и методов защиты этого товара от хищений и фальсификации. Широкий научный и практический интерес к процессам формирования, распространения и представления знаний породил в свою очередь многообразие мнений и точек зрения на эти процессы, что значительно осложняет взаимопонимание исследователей и замедляет темпы научно-технического прогресса. Различными авторами неоднократно предпринимались попытки упорядочить это многообразие, положив в основу тот или иной постулат. В данной работе в качестве основания используются не постулаты, а результаты анализа физических основ информационных процессов. Математические модели информационных процессов и степень их

соответствия реальности в рамках данной статьи не рассматриваются.

1. Информатика

Исследования в области информационно-коммуникационных технологий имеют междисциплинарный и мультидисциплинарный характер, поэтому в них участвуют представители практически всех отраслей науки: философии, математики, физики, химии, биологии, лингвистики, психологии, социологии и т.д. В русскоязычной литературе это направление человеческой деятельности получило название «Информатика». Используемое в русскоязычной литературе слово «информатика» представляет собой транскрипцию французского слова «informatique», образованного путем слияния слов «information» (информация) и «automatique» (автоматика), что означает информационная автоматика или автоматизированная обработка информации. В англоязычной литературе этому термину соответствует термин «Computer Science» (наука о компьютерах). Эти термины акцентируют внимание на технических средствах, использование которых в значительной мере способствовало становлению и развитию информатики.

В структуре современной информатики можно выделить три основных элемента [1], каждый из которых может рассматриваться как относительно самостоятельное направление деятельности:

Теоретическая информатика, занимающаяся изучением структуры и общих свойств информационных процессов, включающая в себя:

- теорию алгоритмов и автоматов;
- теорию кодирования;
- математическую и формальную логику;
- теорию формальных языков и грамматик;
- социальную информатику;
- исследование операций;
- и т.д.

Средства информатизации, включающие в себя:

технические средства (средства передачи, обработки, хранения, представления данных);

программные средства (системное программное обеспечение, прикладное программное обеспечение)

Информационные технологии, включающие в себя:

технологии ввода/вывода, хранения, передачи, обработки данных;

технологии программирования, проектирования, моделирования, обучения;

технологии управления объектами, процессами, системами;

технологии защиты информации;

и т. д.

Интегральный характер информатики является причиной отсутствия общепринятых определений (дефиниций) как самой информатики, так и используемых понятий и терминов. В рамках различных наук изучаются различные виды и свойства информационных процессов, что приводит к различию представлений об информационных процессах и, как следствие, к «размытости» понятийного аппарата информатики. Фактически в настоящее время можно утверждать, что:

Информатика представляет собой область человеческой деятельности связанную с изучением структуры и общих свойств информационных процессов, а так же с созданием средств информатизации и информационных технологий.

Основная трудность при изучении информатики возникает из-за смешивания понятий "информация" и "сообщение". В одних случаях эти понятия рассматриваются как синонимы, а в других случаях - как различные понятия. Поэтому давно назрела необходимость разграничить как области применимости этих понятий, так и представления, соответствующие каждому из этих понятий.

2. Информационные процессы

В природе существует два фундаментальных вида взаимодействия – процессы обмена веществом и энергией, подчиняющиеся законам сохранения. Фундаментальность этих видов взаимодействия заключается в том, что все прочие взаимодействия происходят только через их посредство. В замкнутой системе общее количество вещества и энергии остается постоянным. Это так называемые симметричные взаимодействия, при которых сколько вещества или энергии один объект отдал, столько же другой объект и получил. На основе комбинации фундаментальных взаимодействий, между объектами может происходить несимметричное взаимодействие, при котором потери одного объекта не совпадают с приобретением другого. Так штамп передает свою форму обрабатываемому материалу, но сам форму сохраняет. Поэтому можно утверждать, что:

Информационный процесс представляет собой комплекс взаимодействий, сопровождающийся обменом веществом и энергией, при котором происходит изменение формы, структуры или состояния взаимодействующих объектов, но сохраняется качественная определенность взаимодействующих объектов.

Поскольку каждый процесс взаимодействия является в то же время информационным процессом, то возникают трудности выделения информационной составляющей этих процессов. На сложный, многокомпонентный характер информационных процессов указывал еще А.Н. Колмогоров [2]. Преодоление указанных трудностей возможно на базе анализа результатов наблюдений отражения в живой и неживой природе. Эти результаты обобщены в философском понятии:

Отражение - общее свойство материи, которое выражается в способности материальных тел посредством собственных изменений воспроизводить особенности взаимодействующих с ними материальных тел.

Взаимосвязь процессов отражения и информационных процессов отмечал в своих работах А.Д. Урсул [3], указывая на то, что информация представляет собой инвариант отражения. Философские обобщения исследований отражения выявили двойственную субъективно-объективную природу отражения и выявили специфическую особенность процессов передачи сообщений – активную роль не только передатчика сообщения, но и приемника. Сообщение, переданное от одного человека другому, служит основой формирования образа у получателя, а этот образ представляет собой результат взаимодействия полученного сообщения и самого получателя. [4]

Проанализировав известные науке процессы взаимодействия, можно утверждать, что в природе объективно существуют три вида объектов и процессов их взаимодействия:

- **материальные** объекты и процессы;
- **идеальные** объекты (как устойчивые состояния соответствующим образом организованных материальных объектов) и процессы взаимодействия идеальных объектов;
- **комплексные** объекты и процессы, соединяющие в себе и идеальные и материальные объекты и процессы.

Поэтому информационные процессы как процессы взаимодействия материальных и идеальных объектов можно разделить на три группы процессов:

- физические (взаимодействия материальных объектов);
- формальные (взаимодействия идеальных объектов);
- комплексные (взаимодействия материальных и идеальных объектов).

Такое деление вполне согласуется с известными видами отражения:

1. Пассивное отражение (в неживой природе), это элементарное отражение - след, отпечаток;

2. Активное отражение (в живой природе), это:

- Ощущение (раздражение) - элементарное отражение, изменение состояния рецепторов;
- Психика - формирование образов (комплексов ощущений, связанных в единое целое и имеющих проекцию на реальный мир).

При этом теоретическая информатика согласуется с теорией познания и может оперировать понятиями, принятыми в этой области научных исследований:

- **Образы** (идеальные объекты) представляют собой устойчивые состояния особым образом организованных материальных объектов (динамические информационные структуры);

- **Сознание** представляет собой формирование понятий (комплексов образов и связей между ними) и оперирование понятиями и т.д.

При взаимодействии материальных объектов происходит изменение этих объектов (как отражение одним объектом свойств другого объекта). Рассмотрим некий обособленный материальный объект (назовем его объект А). При взаимодействии с другим материальным объектом (назовем его объект В) объект А изменяется, что можно трактовать как процесс индукции-редукции информации, единый процесс возникновения-исчезновения, так как новые изменения, возникая, одновременно уничтожают (затирают) старые. Пока изменения объекта А, вызванные взаимодействием с другими объектами, не затрагивают те изменения, которые вызваны взаимодействием с объектом В, идет процесс хранения информации.

Таким образом, структура физических информационных процессов состоит из двух основных элементов (фаз) - индукция/редукция и хранение.

Индукция/редукция - возникновение новых изменений объекта при взаимодействии и одновременно с этим исчезновение старых.

Хранение - при отсутствии взаимодействий, затрагивающих данные изменения, эти изменения сохраняются до тех пор, пока не будут затерты новыми изменениями, индуцированными внешними или внутренними процессами.

Идеальные объекты – образы, представляют собой состояния центральной нервной системы биологических объектов, поэтому они принципиально индивидуальны. Передать образ без искажений от одного человека к другому невозможно, но можно с помощью знаковых систем (языков) вызывать (индуцировать) образы у реципиента (приемника информации). Процесс передачи образной информации по своим физическим свойствам сходен с процессом резонанса в электродинамике - энергия сигнала возбуждает рецептор (колебательный контур) в котором и происходят изменения состояния (в контуре возникают колебания), которые зависят как от параметров сигнала, так и от параметров рецептора (контра). При совпадении определенных параметров сигнала и приемника (при резонансе) слабый сигнал может вызывать сильные изменения, а при несовпадении - сильный сигнал вызывает слабые изменения.

Структура формальных информационных процессов подобна структуре физических информационных процессов и состоит из двух основных элементов (фаз) - индукция/редукция и хранение.

Комплексные процессы, представляют собой процессы взаимодействия материальных и идеальных объектов в рамках знаковых (языковых) систем. Как известно, человек мыслит образами (понятиями), а общается с другими людьми с помощью системы знаков – языка. Слушатель переводит поток слов в поток образов, построенных образами из памяти с помощью контекстного анализа. То же самое происходит и со зрительными образами - образ видимый и образ воспринимаемый сознанием это разные образы, не даром в криминалистике существует выражение "врет как очевидец". Человек воспринимает и сохраняет в памяти не то, что происходило на самом деле, а то, что он воспринял из окружающего, на базе личного жизненного опыта. Сложность описания комплексных информационных процессов заключается в том, что это процессы многопорядковые (процессы вложенной динамики) [5]. Еще одна сложность описания информационных процессов заключается в том, что необходимо учитывать как процессы взаимодействия материальных объектов, так и процессы взаимодействия идеальных объектов, а кроме того, процессы взаимодействия материальных и идеальных объектов.

Тем не менее, рассмотрение комплексных процессов как взаимодействия материальных и идеальных объектов согласует информатику с семантикой, семиотикой, лингвистикой и позволяет оперировать понятиями, принятыми в этих областях науки:

Знаки - объекты или явления, служащие для обозначения другого объекта (свойства, отношения);

Термин – слово (знак), выступающее в качестве указания, обозначения или представления предмета, события, действия, чувственного образа. При этом различают:

- денотат (значение) термина - обозначаемый этим термином реально существующий объект;

- представление (смысл) термина - мысленное содержание, обобщенный образ;

- дефиниция - краткое логическое определение термина, устанавливающее его содержание и границы применимости;

Контекст - смысловое содержание текста, написанного на конкретном языке; и т.д.

Структура комплексного информационного процесса в общем случае представляет собой совокупность последовательных фаз:

Оформление – формирование сообщения как совокупности знаков в форме текста, звуков, графики;

Передача – формирование и перемещение сигналов;

Восприятие – прием сигналов и формирование ощущений и образов;

Интерпретация – формирование представлений, как результата взаимодействия образов, сформированных при получении сообщения и образов, хранящихся в памяти.

При рассмотрении процессов передачи сигналов акцент смещается от отдельных объектов к системам объектов (используются понятия, заимствованные из теории систем - структура, связи, информационные системы). Представляется возможность выделить носители информации - материальные объекты или структуры, основная функция которых - хранение информации, а так же информационные связи между элементами системы. Физически передачу информации можно представить как индуцирование в приемном устройстве изменений физического состояния. Информация в данном случае - это результат взаимодействия сообщения с приёмным устройством.

При этом теоретическая информатика согласуется с теориями связи и управления и может оперировать понятиями, принятыми в этих областях науки и техники:

Сообщения (данные) – структурированная совокупность сигналов;

Сигналы - состояния объектов или процессов в цепи, связывающей источник с получателем, при условии, что изменения состояния источника приводит к изменению состояний остальных объектов в этой цепи по правилам, известным получателю;

Носитель - материальный объект или структура, основная функция которого - хранение информации;

Канал связи – совокупность материальной среды, носителя информации и физического процесса, используемых для передачи сообщений;

Кодирование (декодирование) - преобразование сигналов по определенным правилам; и т.д.

По линиям связи передаются сигналы, или группы сигналов – сообщения, которые, взаимодействуя с объектом-приемником, вызывают изменения состояния приемника, а эти изменения и представляют собой информацию. В качестве объекта-приемника может выступать как оконечный получатель сигналов, так и объект перекодировщик, переводящий изменения одного сигнала в изменения другого сигнала. В этом случае термин "передача сообщения" представляет собой обобщенное обозначение большого количества взаимосвязанных процессов:

- изменение состояния носителя сигнала,
- перемещение носителя,
- изменение состояния объекта-приемника.

Трудность передачи сообщения не зависит от его содержания, передавать без искажений бессмысленные сообщения не менее трудно, чем осмысленные, поэтому основополагающая работа К. Шеннона, называемая «Математическая теория связи», вполне обоснованно не учитывает содержательную сторону сообщений [6].

Обобщая вышеизложенное можно утверждать, что информационный процесс в общем случае представляет собой совокупность как минимум трех компонент – физической компоненты, логической и семантической. В качестве примера можно рассмотреть уровни протоколов компьютерных сетей передачи данных:

Физический уровень – включает в себя физический протокол, это уровень физических параметров сигналов и сред передачи данных;

Логический уровень – включает в себя канальный, сетевой, транспортный и сеансовый протоколы, это уровень работы с

логическими объектами (пакетами данных), представленными в форме групп электрических или оптических сигналов;

Семантический уровень – включает в себя представительный и прикладной протоколы, это уровень представления и интерпретации данных (кодирование/декодирование, форматирование, структурирование и т.д.).

3. Информация

Основой понятийного аппарата информатики является понятие «информация». Общепринятое представление об информации, как совокупности сведений, не раскрывает природу самого понятия, поэтому в современной научной литературе наблюдается довольно широкий спектр взглядов на природу информации (порядка сотни различных определений), что еще больше усиливает существующую неопределенность. Доходит до предположений, что понятие «информация», являясь первичным понятием, наряду с понятиями «материя» и «энергия», принципиально не может быть строго определено. Неопределенность базового понятия приводит к неопределенности и производных понятий, а так же к произволу в трактовке места и роли теоретической информатики в общей системе научных знаний.

Анализируя структуру информационных процессов, можно выделить три вида информации, взаимосвязанные и взаимодополняющие друг друга:

- **физическая** информация - существует и в неживой природе и в живой природе;

- **образная** информация - существует только в живой природе (в динамических системах)

- **знаковая** информация (языковая) - комплексная, существует в виде материально-идеальных комплексов - языков (материальный объект - текст и идеальный объект - смысл текста).

Информация - то общее, что существует во всех информационных процессах, а именно – изменения формы, структуры или состояния взаимодействующих объектов, произошедшие в результате взаимодействия.

Для физической информации можно дать следующее определение:

Физическая информация об объекте (источнике) есть изменения другого объекта (приемника, наблюдателя), вызванные взаимодействием с объектом.

Знаковая информация возникает тогда, когда физическая информация (знак) получает свою интерпретацию в рамках некоторой системы идеальных объектов – понятий (смысл знака). На примере текстов на мертвых языках можно наблюдать, как исчезает содержание (смысл) текста с исчезновением системы идеальных объектов – языка, в то время как носитель (текст) сохраняется.

В отличие от информации, сообщение представляет собой текст или другую совокупность знаков, зафиксированных на каком-либо материальном носителе (в том числе и на системе звуковых или электромагнитных волн) и обладает множеством свойств, которые можно объединить в три группы:

Синтаксис – свойства, определяющие способ представления знаковой информации на носителе (в сигнале). Так, данная статья, как знаковая информация, представлена в виде текста, с использованием определенного шрифта и определенного способа форматирования, с использованием определенного алфавита и правил грамматики;

Семантика – свойства, определяющие соответствие знака реальному миру. Семантика может рассматриваться как некоторое соглашение, известное получателю сообщения, о том, что означает каждый знак (так называемое правило интерпретации). Например, именно семантику знаков изучает начинающий автомобилист, штудирующий правила дорожного движения, познавая дорожные знаки (в этом случае сигналами выступают сами знаки). Семантику слов познаёт обучаемый какому-либо иностранному языку;

Прагматика – свойства, определяющее влияние сообщения на поведение потребителя.

4. Количество информации

Рассматривая информационные процессы с философской точки зрения можно утверждать, что информация представляет собой **сущность** (общее во множестве явлений). При этом постановка вопроса о количестве информации некорректна. Измерять (сравнивать с мерой – эталоном) можно только конкретное **свойство** конкретного объекта (результат измерений = интенсивность свойства). Именно поэтому в информатике существует множество так называемых подходов к измерению количества информации, но в рамках каждого из этих подходов измеряются разные свойства текстов, сигналов, сообщений:

Вероятностный подход – вероятность появления конкретного символа в конкретном сообщении или вероятность появления конкретного сообщения;

Энтропийный подход - степень отклонения сообщения, представленного в виде текста, от состояния, при котором появление любой буквы в данном сообщении имело бы равную вероятность;

Алгоритмический подход - значение функции сложности в рамках теории алгоритмов;

Комбинаторный подход - количество комбинаций символов конкретного алфавита для сообщения фиксированной длины;

Структурный подход – количество символов в сообщении;

Семантический подход - степень соответствия содержания конкретного сообщения тезаурусу приемника;

Прагматический подход - степень полезности данного сообщения для конкретного приемника и т.д.

Поэтому и так называемое «количество информации», «измеренное» в рамках разных подходов имеет различное числовое значение. Выход из существующего положения можно представить, используя несколько упрощенную аналогию - "количество леса" представляет собой общее понятие, а измерить можно:

количество деревьев в лесу (шт) - штучный подход,

количество биомассы (т) - весовой подход,

площадь леса (га) - площадной подход,

объем древесины (м³) - объемный подход и т. д.

Так же и в информатике следует разграничивать общее понятие «информация» и измеряемое конкретное свойство конкретного объекта или процесса.

Например, основным свойством физической информации является множество изменений или объем физической информации. Поскольку каждый материальный объект обладает некоторым множеством свойств, то каждому из которых можно поставить в соответствие численное значение и выделить из общего множества те, которые изменили свои значения при данном взаимодействии. В терминах теории множеств определение объема физической информации будет звучать так:

Объем физической информации есть мощность множества свойств (характеристик) объекта-приемника (наблюдателя), изменившихся при взаимодействии с объектом-источником.

Единица измерения - бит есть мощность множества, содержащего один элемент. Например: объем физической

информации, который может быть записан на магнитный диск, определяется количеством (мощностью множества) участков на магнитном диске, изменение намагниченности которых используется для фиксации факта наличия-отсутствия записи.

Свойства образной информации: яркость (четкость), детальность, адекватность реальному объекту и др. представляют собой интегральные характеристики, поэтому степень проявления этих свойств измеряется с помощью методов многокритериальных оценок и качественного анализа.

Свойства знаковой информации: форма представления, алфавит (набор знаков), структура сообщения, ценность сообщения, достоверность сообщения, новизна сообщения и т.д. очень разнообразны, поэтому степень проявления этих свойств измеряется множеством различных методов. Необходимым условием достоверности измерений и возможности сравнения результатов измерений является точное указание измеряемого свойства. Если измеряется количество знаков в сообщении, то результатом измерения должно быть именно количество знаков (в штуках), а не количество информации (в битах).

Литература

1. Акулов О.А., Медведев Н.В. Информатика: базовый курс. – М.: ОМЕГА-Л, 2007. - 560с.
2. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов / Отв. редактор Ю.В. Прохоров. – М.: Наука, 1987. - 304с.
3. Урсул А. Д. Отражение и информация. – М.: Мысль, 1973. - 231с.
4. Пушкин В.Г., Урсул А.Д. Информатика, кибернетика, интеллект. Философские очерки. - Кишинев: Штиинца, 1989. -296с.
5. Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика, или путь к миру открытых систем // Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии наук. - СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. - 431 с.
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Иностранная литература, 1963. – 832с.

Серия: НЕОКОНЧЕННЫЕ ИСТОРИИ НАУКИ

Хмельник С.И., Хмельник М.И.

К вопросу об источнике энергии в генераторе Серла

Аннотация

Рассматривается функционирование генератора Серла с точки зрения процессов превращения энергии. На основе использования экспериментальных данных и теории теплообмена показано, что источником энергии может быть взаимодействие постоянных магнитов с окружающей средой.

Оглавление

1. Введение
2. Преобразование энергии в генераторе Серла
3. Преобразование $U \Rightarrow K$
4. Преобразование $G \Rightarrow A$
 - 4.1. Анализ термостационарного режима.
 - 4.2. Связь геометрических размеров и скорости
 - 4.3. Связь нагрузки и скорости

Литература

1. Введение

При анализе экспериментов с генератором Серла [1-6] возникают два основных вопроса: 1) как возникает движущая сила и 2) откуда генератор черпает энергию? В [7] мы показали, что движущая сила не может быть результатом только силового взаимодействия постоянных магнитов ротора и статора и первый вопрос остался открытым. Здесь мы анализируем второй вопрос и, как нам представляется, находим на него ответ.

Прежде, чем рассматривать генератор Серла, обратим внимание на некоторые другие факты, которые находятся с ним в одном ряду с точки зрения поставленного вопроса.

Можно предположить, что постоянный магнит в некоторых условиях мог бы быть преобразователем внутренней энергии окружающей среды в кинетическую энергию. Это становится особенно очевидным в связи с существованием

магнитокалорического эффекта – МКЭ [8]. МКЭ состоит в способности любого магнитного материала изменять свою температуру под воздействием магнитного поля. Максимальной величины МКЭ достигает в ферромагнетиках. Некоторые материалы (например, гадолиний) существенно увеличивают свою температуру. В настоящее время на основе этого эффекта изготавливаются даже бытовые холодильники. Оценки показывают [8], что применение магнитных холодильников позволит уменьшить общее потребление энергии в США на 5 %.

Закон сохранения энергии требует признать, что

1) либо постоянный магнит является некоторым катализатором, помогающим ферромагнитным материалам (например, гадолиний) аккумулировать внутреннюю энергию окружающей среды;

2) либо магнитная энергия постоянного магнита преобразуется во внутреннюю энергию ферромагнитных материалов; в этом случае надо еще предположить, что

энергия постоянного магнита пополняется за счет внутренней энергии окружающей среды	(А)
---	-----

В любом случае

внутренняя энергия окружающей среды преобразуется постоянным магнитом во внутреннюю энергию ферромагнитных материалов	(В)
---	-----

2. Преобразование энергии в генераторе Серла

По аналогии с вышесказанным можно предположить, что в генераторе Серла

внутренняя энергия окружающей среды преобразуется постоянным магнитом в кинетическую энергию ротора	(С)
---	-----

т.е. генератор Серла становится преобразователем тепла окружающей среды в кинетическую энергию. Подтверждением этого может служить отмечаемое в экспериментах Серла, Роцина и Година [1, 2, 6] понижение температуры на 6-8 градусов. Далее мы будем для обоснования этого и других предположений ссылаться на эксперименты с генератором Серла, описанные в [6], т.к. там приведены наиболее полные данные.

Из предположения (С) следует, что при анализе генератора Серла нужно рассматривать следующие виды энергии:

1. магнитная энергия постоянных магнитов W ,
2. внутренняя энергия постоянных магнитов U ,
3. кинетическая энергия ротора K ,
4. энергия, расходуемая нагрузкой генератора A ,
5. внутренняя энергия окружающей среды G

и следующие преобразования энергии

$U \Rightarrow W$: это преобразование мы предполагаем, не предлагая какого-либо механизма такого преобразования; обоснованием будут служить рассматриваемые ниже эксперименты;

$W \Rightarrow K$, $W \Rightarrow A$: мы должны признать существование этих преобразований просто потому, что ротор генератора Серла вращается, а непременная составляющая этого генератора – постоянные магниты;

$G \Rightarrow U$: теплоперенос от окружающей среды к генератору Серла подтверждается существованием наблюдаемой разности температур.

Итак, имеются две цепи преобразования энергии: $G \Rightarrow U \Rightarrow W \Rightarrow K$ и $G \Rightarrow U \Rightarrow W \Rightarrow A$. Для упрощения количественного анализа мы исключим из рассмотрения промежуточные преобразования и будем рассматривать сразу преобразования $U \Rightarrow K$ и $G \Rightarrow A$.

3. Преобразование $U \Rightarrow K$

Рассматривается процесс движения намагниченных роликов в генераторе Серла [1, 2]. Этот процесс заключается в том, что намагниченные ролики движутся по ободу статора, составленного из постоянных магнитов. Система связанных роликов является ротором генератора. Эксперименты показывают, что генератор охлаждается до некоторой температуры $T' < T_0$, где T_0 – температура окружающей среды. Очевидно, при охлаждении постоянные магниты роликов и статора потеряли некоторое количество внутренней энергии в результате процессов, происходящих в кристаллической решетке материала постоянных магнитов. Наше *предположение* заключается в том, что именно эта

внутренняя энергия постоянных магнитов идет на сообщение роликам кинетической энергии	(D)
---	-----

Еще раз отметим, что механизм этого перехода энергии неизвестен.

Указанная кинетическая энергия K равна количеству теплоты Q , которое выделилось бы постоянными магнитами при охлаждении их на

$$\Delta T = (T_o - T'), \quad (0)$$

Для величин K и Q имеют место известные соотношения:

$$K = \frac{m_r v_o^2}{2}, \quad (1)$$

$$Q = 2Nmc \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где

m_r - масса ротора,

N - число роликов,

c - удельная теплоёмкость материала постоянных магнитов,

m - масса постоянного магнита одного ролика (коэффициент «2» в формуле (2) появляется в предположении, что масса постоянных магнитов в роликах равна массе постоянных магнитов статора).

Приравнивая последние два выражения, находим формулу для разности температур до и после охлаждения:

$$\Delta T = \frac{m_r v_o^2}{4Nmc} \quad (3)$$

Из последней формулы следует, что понижение температуры зависит только от материала постоянных магнитов (величина c).

Пример 1. В экспериментах [6] можно (не имея более точных данных) считать, что масса магнитов ротора составляет 25% массы всего ротора, т.е. $m_r = 4Nm$. При этом формула (3) принимает вид

$$\Delta T = \frac{v_o^2}{c}. \quad (4)$$

Имеем $v = 2\pi R\omega / 60$, где R - радиус ротора, ω - число оборотов ротора в минуту. В указанных экспериментах $R = 0.5\text{ м}$ и $\omega = 550\text{ об / мин}$. При этом $v = 25\text{ м / сек}$. Полагая, что теплоемкость материала постоянных магнитов в этих экспериментах сравнима с теплоемкостью ферритов, находим $c = 125\text{ Дж / К}$. Отсюда по (4) получаем $\Delta T \approx 5^\circ\text{C}$,

что совпадает с данными этих экспериментов, где

$$\Delta T \approx (6 - 8)^\circ C$$

Таким образом, постоянные магниты за время Δt черпают из окружающей среды внутреннюю энергию, превращая ее в кинетическую. Поскольку эта энергия проходит через постоянные магниты, естественно предположить, что

<p>внутренняя энергия окружающей среды преобразуемая постоянным магнитом в кинетическую энергию ротора, не может превышать магнитную энергию постоянного магнита</p>	(E)
--	-----

Из этого предположения следует, что

$$W \geq Q = K, \quad (5)$$

Запас магнитной энергии постоянного магнита может быть определен в зависимости от его индукции и объема по формуле

$$W_m = \frac{V_m B^2}{2\mu\mu_0}, \quad (6)$$

где V_m - объем постоянных магнитов ротора и статора. Из (2, 5, 6) находим:

$$2Nmc \cdot \Delta T \leq \frac{V_m B^2}{2\mu\mu_0}, \quad (7)$$

Пусть ρ - плотность материала постоянных магнитов. Тогда

$$2Nmc \cdot \Delta T \leq \frac{2NmpB^2}{2\mu\mu_0}, \quad (8)$$

откуда получаем

$$\Delta T \leq \frac{\rho B^2}{2c\mu\mu_0} \quad (9)$$

Из (9) следует, что понижение температуры полностью определяется физическими свойствами материала магнита и не зависит от его массы. Таким образом,

$$B \geq \sqrt{2c\mu\mu_0 \Delta T / \rho} \quad (9a)$$

Пример 2. Полагая, как в примере 1, $c = 125 \text{дж/К}$, $\Delta T \approx 5^\circ\text{C}$, зная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ и принимая, как для ферритов, $\mu = 3000$, $p = 8000 \text{ кг/м}^3$ находим

$$B \geq 0.024 \text{ Тс}, \quad (9\text{в})$$

что безусловно выполняется. Таким образом, для конструкции Серла магнитной энергии более чем достаточно.

Из (1, 5-8) также получаем:

$$\frac{m_r v_0^2}{2} \leq \frac{2NmpB^2}{2\mu\mu_0},$$

или

$$B \geq v_0 \sqrt{\frac{\mu\mu_0 m_r}{2Nmp}}. \quad (10)$$

Пример 3. Полагая, как в примерах 1 и 2, $m_r = 4 \text{ Nm}$, $\mu = 3000$, $v = 25 \text{ м/сек}$, $p = 8000 \text{ кг/м}^3$, находим

$$B \geq v \sqrt{2\mu\mu_0/p} \quad \text{или} \quad B \geq 0.024 \text{ Тс}, \quad (10\text{в})$$

что безусловно выполняется. Таким образом, для конструкции Серла магнитной энергии более чем достаточно.

Из (10) находим:

$$v \leq B \sqrt{\frac{2Nmp}{\mu\mu_0 m_r}}. \quad (11)$$

В (11) отношение

$$\lambda = m_r / m, \quad (12)$$

определяется конструкцией ротора. Таким образом, скорость ограничена магнитной энергией постоянных магнитов как «пропускной» тепловой энергией. При данной индукции для увеличения максимальной скорости необходимо стремиться к уменьшению величины (12), т.е. к уменьшению немагнитных частей ротора.

Пример 4. Полагая, как в примере 3, $m_r = 4Nm$, $\mu = 3000$, $v = 25 м/сек$, $p = 8000 кг/м^3$, находим

$$v \leq B / \sqrt{2\mu\mu_o/p} \text{ или } v \leq 1000 \cdot B(м/сек). \quad (12в)$$

Имеем $v = 2\pi R\omega/60$, где R - радиус ротора, ω - число оборотов ротора в минуту. В указанных экспериментах $R = 0.5 м$. При этом из (12в) находим: $\omega \leq 60 \cdot 1000 \cdot B / (2\pi \cdot 0.5)$ или $\omega \leq 20000 \cdot B$, что безусловно (при $B < 10 Тс$) выполняется, ибо $\omega = 550 об/мин$ (как указано в примере 1). Таким образом, для конструкции Серла магнитной энергии более чем достаточно.

4. Преобразование $G \Rightarrow A$

4.1. Анализ термостационарного режима.

Т.к. температура постоянных магнитов меньше температуры окружающей среды, то должен происходить процесс перехода внутренней энергии от окружающей среды к этим магнитам. Далее будем рассматривать только термостационарный режим (когда ΔT постоянно). Наше предположение заключается в том, что

внутренняя энергия окружающей среды в стационарном режиме идет на работу в нагрузке	(F)
---	-----

Приток тепла за некоторый промежуток времени t к генератору

$$Q_1 = 2qSnt, \quad (4)$$

где

q - плотность теплового потока (тепловой поток, попадающий в единицу времени на единицу поверхности),

S - площадь поверхности каждого постоянного магнита (коэффициент «2» в формуле (4) появляется в предположении, что площади поверхности постоянных магнитов в роликах и в статоре равны).

По формуле Фурье [3] имеем:

$$q = \alpha \cdot \Delta T, \quad (5)$$

где α - коэффициент теплоотдачи (для газов 10-500 [3]). Тогда

$$Q_1 = 2\alpha Snt \cdot \Delta T. \quad (6)$$

Это тепло в стационарном режиме равно работе, совершаемой нрузкой

$$A = P_m \cdot t.$$

где P_m - мощность нагрузки. Следовательно,

$$P_m = 2\alpha SN \cdot \Delta T. \quad (6a)$$

Пример 5. Из (6a) можно найти полную площадь поверхности всех магнитов ротора и статора

$$\bar{S} = 2SN = P_m / (\alpha \cdot \Delta T)$$

В экспериментах [6] $\Delta T \approx 7K$, $P_m = 7000вт$ и, как указывалось, $\alpha \approx (10 - 500)$. Следует предположить, таким образом, что в экспериментах [6] $\bar{S} \approx (2 - 100)м^2$. К сожалению, у авторов нет возможности проверить этот результат. Заметим, однако, что общий вес постоянных магнитов составлял 225кг. Полагая, что их удельный вес $\approx 5г/см^3$, находим их общий объем $\approx 45000 см^3$.

Если $N = 100$, то объем одного магнита $\approx 225 см^3$, радиус сферы такого объема $R \approx \sqrt[3]{225/4.19} \approx 3.8 см$, а ее поверхность $S \approx 12.6R^2 \approx 180 см^2$. Таким образом, общая поверхность всех магнитов, видимо, равна $\bar{S} = 2SN = 2 \cdot 180 \cdot 100 \cdot 10^{-4} = 3.6 м^2$, что по порядку величин согласуется с определенным выше значением.

Если нагрузка отсутствует и температура генератора не меняется, то будет происходить увеличение кинетической энергии роликов. Поэтому в данном случае имеет место равенство

$$Q_1 = N \left(\frac{mu^2}{2} - \frac{mv_o^2}{2} \right), \quad (7)$$

где u - скорость, полученная за время t . Приравнявая (6) и (7), находим

$$t = \frac{m(u^2 - v_o^2)}{4\alpha S \cdot \Delta T}. \quad (8)$$

Отсюда находим зависимость скорости от времени при постоянной температуре:

$$u = \sqrt{v_o^2 + \frac{4\alpha St \cdot \Delta T}{m}}. \quad (9)$$

4.2. Связь геометрических размеров и скорости

Рассмотрим еще влияние геометрических размеров ролика на изменение скорости. Имеем:

$$S = 2\pi Rl + 2\pi R^2, \quad m = \pi R^2 \rho l, \quad (10)$$

где

R - радиус ролика,

l - длина ролика,

ρ - плотность материала роликов.

Подставляя это в (9), находим

$$u = \sqrt{v_o^2 + \frac{8\alpha(1+l/R) \cdot \Delta T}{l\rho} t}. \quad (11)$$

Если ролик достаточно длинный, то его длина не влияет на увеличение скорости, а если ролик достаточно тонкий, то размер его основания не влияет на увеличение скорости, ибо

$$u = \begin{cases} \sqrt{v_o^2 + \frac{8\alpha \cdot \Delta T}{R\rho} t}, & \text{if } \frac{l}{R} \gg 1, \\ \sqrt{v_o^2 + \frac{8\alpha \cdot \Delta T}{l\rho} t}, & \text{if } \frac{l}{R} \ll 1. \end{cases} \quad (12)$$

5. Ускорение роликов, как следует из (9),

$$\frac{du}{dt} = \frac{2\alpha S \cdot \Delta T / m}{\sqrt{v_o^2 + 4\alpha S t \cdot \Delta T / m}}, \quad (13)$$

т.е. с течением времени (при постоянной температуре) уменьшается.

Найдем время τ_n , за которое скорость увеличивается в n раз.

Полагая в (9) $t = \tau_n$, $u = nv_o$, имеем:

$$\tau_n = \frac{mv_o^2(n^2 - 1)}{4\alpha S \cdot \Delta T}. \quad (15)$$

В частности, период удвоения скорости

$$\tau_2 = \frac{3mv_o^2}{4\alpha S \cdot \Delta T}. \quad (16)$$

Учитывая (10) эту формулу можно записать также в виде

$$\tau_2 = \frac{3v_0^2 R \rho l}{8\alpha(R+l) \cdot \Delta T} \quad (16a)$$

и, далее,

$$\tau_2 = \begin{cases} 3Rv_0^2/8\alpha \cdot \Delta T, & \text{if } l/R \gg 1, \\ 3lv_0^2/8\alpha \cdot \Delta T, & \text{if } l/R \ll 1. \end{cases}$$

Таким образом, чем больше коэффициент теплоотдачи материала постоянных магнитов, тем меньше период удвоения скорости. Следовательно, чем быстрее происходит приток тепла из окружающей среды, тем быстрее происходит разгон двигателя (что естественно ожидать).

4.3. Связь нагрузки и скорости

Рассмотрим теперь изменение скорости при наличии на валу двигателя потребителя мощности P (например, электрогенератора с соответствующей нагрузкой). Изменение кинетической энергии за время t

$$\Delta K = Q_1 - Pt \quad (17)$$

Учитывая (6), находим

$$\Delta K = (2\alpha SN \cdot \Delta T - P)t, \quad (18)$$

Но

$$\Delta K = \frac{mN}{2} (u^2 - v_0^2), \quad (19)$$

Следовательно,

$$u = \sqrt{v_0^2 + \frac{2t(2\alpha SN \cdot \Delta T - P)}{mN}}. \quad (20)$$

Если $P = 0$, то отсюда следует формула (9) изменения скорости при отсутствии нагрузки. С увеличением P ускорение уменьшается. Если $P > P_m$ (см. формулу (6a)), то скорость будет уменьшаться. Таким образом, P_m является той критической нагрузкой, превышение которой останавливает генератор. При $P = P_m$ генератор вырабатывает энергию в стационарном режиме.

Литература

1. Генератор на эффекте Серла. Конструкция и процесс изготовления. Университет в SUSSEX. Факультет инженерии и прикладных наук. Отчет SEG-002, 2004
<http://ntpo.com/invention/invention2/23.shtml>
2. S. Gunner Sendberg. Антигравитация. Эффект Серла.
<http://www.ufolog.nm.ru/artikles/searl.htm>
3. Searl International Space Research Consortium
<http://www.sisrc.com/e.htm>
4. John Searl Solution, <http://www.searlsolution.com/investing.html>
5. Рощин В.В., Годин С.М. Устройство для выработки механической энергии и способ выработки механической энергии, патент РФ, H02N11/00, F03H5/00, 2000 г.
6. Рощин В.В., Годин С.М. Экспериментальное исследование физических эффектов в динамической магнитной системе. Письма в ЖТФ, 2000, том 26, вып. 24.
7. Хмельник С. И., Хмельник М. И. К вопросу об источнике движущих сил в генераторе Серла. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», printed in USA, Lulu Inc., ID 322884. Россия-Израиль, 2006, вып. 4. ISBN 978-1-4303-0460-9.
8. Тишина Е.Н.. Магнитное охлаждение – уже реальность.
<http://www.ndfeb.ru/articles/refreg.htm>
9. Исаев С.И., Кожин И.А. и др. Теория теплообмена. М., «Высшая школа», 1979 г., 495 стр.

Недосекин Ю.А.

Одномерное движение двух тел и двух электрических зарядов

Аннотация

Рассмотрено одномерное движение двух тел и двух электрических зарядов с учетом выведенной зависимости масс этих тел от их взаимного расстояния. Для этого типа движения получен новый закон сохранения.

Интегрирование уравнений одномерного движения двух тел в классической механике выполняется элементарно. Это связано с тем, что массы движущихся тел считаются постоянными. Если же учесть, что массы движущихся тел зависят от скоростей их движения, то задача существенным образом усложняется. В обоих случаях задача одномерного движения двух тел может быть приведена к интегрированию одного дифференциального уравнения, описывающего зависимость расстояния между телами от времени. В данной работе зависимость массы тела от скорости его движения явным образом не учитывается. Вместо зависимости массы тела от скорости его движения мы вводим зависимость массы каждого тела от расстояния между ними, что позволяет проще произвести интегрирование уравнения движения. В каждой конкретной задаче такая зависимость должна быть выведена до начала интегрирования уравнения движения. Способ вывода такой зависимости описан нами в работе [1].

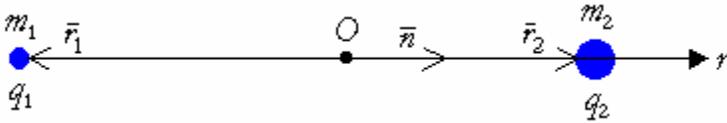
1. Общая часть.

Запишем основные соотношения, относящиеся как к одномерному движению двух тел, так и к одномерному движению двух электрических зарядов. При движении двух тел с массами m_1 и m_2 на них действуют силы гравитационного притяжения. При движении двух электрических зарядов вдоль одной прямой на заряды действуют только кулоновские силы притяжения или отталкивания в зависимости от знаков их зарядов q_1 и q_2 .

Действием гравитационных сил в этом случае пренебрегаем ввиду их малости по сравнению с электрическими силами. В обоих случаях под массами m_1 и m_2 будем понимать массы веществ этих тел, обусловленных массами образующих их атомов. Кроме вещественных масс, каждое тело окружено соответствующим полем: при гравитационном взаимодействии – гравитационным полем, при электрическом взаимодействии – электрическим полем. Каждое из этих силовых полей представляют собой некоторую материальную структуру, обладающую массой. Следовательно, масса каждого взаимодействующего тела складывается из его вещественной и полевой массы. При рассмотрении взаимодействия между телами или электрическими зарядами под массами m_1 и m_2 , как это было уже отмечено выше, мы будем понимать вещественные массы взаимодействующих тел. Полевые массы этих тел во много раз меньше соответствующих вещественных масс и к тому же они распределены в большой области пространства вокруг взаимодействующих тел. Вещественные же массы тел предполагаем точечными. Когда увеличивается масса тела, взаимодействующего с полем другого тела, то это увеличение массы обусловлено поглощением данным телом полевой материи из силового поля другого тела. В этом процессе вещественная масса второго тела не изменяется, так как материя поглощалась из его поля. Точно таким же образом осуществляется и увеличение массы второго тела, поглощающего материю из поля первого тела. Уменьшение массы тела происходит при его торможении в поле другого тела. В этом случае тормозившееся тело отдает материю тормозящему полю из своей материальной структуры, обуславливающей его кинетическую энергию. Силовые поля взаимодействующих тел выступают таким образом в качестве резервуаров энергии, из которых взаимодействующие тела черпают энергию при увеличении своих кинетических энергий и которым тела отдадут часть своей кинетической энергии при уменьшении своей скорости. Если описывать движение взаимодействующих тел при помощи 2-го закона Ньютона, то в этом случае процесс изменения энергии силовых полей явным образом не учитывается. Физика процесса изменения энергии силовых полей, описанная выше, позволяет понять каким образом взаимодействующее с полем тело увеличивает или уменьшает свою энергию. Если же при описании движения взаимодействующих тел использовать, например лагранжев формализм, при котором рассматривается потенциальная

энергия тел, то процессы изменения энергии силовых полей отвечают закону сохранения энергии этих тел. В обоих случаях собственно процессы изменения энергии силовых полей не рассматриваются. Мы также не будем учитывать запаздывание взаимодействия между телами, что вполне допустимо при их нерелятивистских движениях.

Необходимые обозначения показаны на рисунке.



Два тела с массами m_1 и m_2 или два заряда q_1 и q_2 , сосредоточенные на телах с такими же обозначениями масс, движутся вдоль одной прямой Or , где неподвижная точка O – начало координат. Пусть \bar{r}_1, \bar{r}_2 – радиус-векторы тел m_1, m_2 или зарядов q_1, q_2 соответственно относительно точки O , \bar{n} – единичный вектор, направленный вдоль оси Or . Тогда $\bar{r}_1 = -r_1\bar{n}$, $\bar{r}_2 = r_2\bar{n}$, $\bar{r} = \bar{r}_1 - \bar{r}_2$, где \bar{r} – вектор расстояния между рассматриваемыми телами или зарядами.

Пусть для момента времени $t = 0$ выполняются условия:

$$\tilde{m}_{10}\bar{r}_{10} + \tilde{m}_{20}\bar{r}_{20} = 0, \quad (1)$$

$$\tilde{m}_{10}\bar{v}_{10} + \tilde{m}_{20}\bar{v}_{20} = 0, \quad (2)$$

где $\tilde{m}_{i0} = m_{i0} / \sqrt{1 - \beta_{i0}^2}$, $\beta_{i0}^2 = v_{i0}^2 / c^2$, $i=1, 2$; m_{i0} – массы покоя тел в рассматриваемой системе отсчета, связанной с осью Or , v_{i0} – проекции начальных скоростей \bar{v}_{i0} этих тел на их радиус-векторы \bar{r}_{i0} , c – скорость света в вакууме. В частном случае начальные скорости тел могут быть равными нулю, т.е. $v_{i0} = 0$.

Равенство (1) является выражением условия центра масс двух тел для момента времени $t = 0$ и оно определяет выбор начала координат в точке O . При движении тел ($t > 0$), как это было показано в работе [2], аналогичное равенство

$$m_1\bar{r}_1 + m_2\bar{r}_2 = 0 \quad (3)$$

не выполняется, что может быть проверено после интегрирования уравнений движения.

Равенство (2) показывает, что суммарный импульс двух тел в момент времени $t = 0$ равен нулю, который в силу закона сохранения импульса сохраняет свое нулевое значение во все время движения этих тел, т.е. выполняется равенство

$$m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = 0, \quad (4)$$

непосредственно вытекающее из 3-го закона Ньютона для двух взаимодействующих тел.

На тела m_1, m_2 или заряды q_1, q_2 действуют силы \bar{F}_1 и \bar{F}_2 соответственно. Если $\bar{F}_1 = \bar{F}$, то $\bar{F}_2 = -\bar{F}$ согласно 3-му закону Ньютона. Уравнения движения этих тел или зарядов определяются 2-м законом Ньютона

$$\frac{d}{dt}(m_1 \bar{v}_1) = \bar{F}, \quad \frac{d}{dt}(m_2 \bar{v}_2) = -\bar{F}. \quad (5)$$

Складывая почленно равенства (5), получим

$$\frac{d}{dt}(m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2) = 0 \Rightarrow m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = \overline{const}. \quad (6)$$

Всегда найдется такая инерциальная система отсчета, в которой равенство (6) совпадет с равенством (4) ($\overline{const} = 0$). Из равенства (4) следует, что скорости \bar{v}_1 и \bar{v}_2 направлены в противоположные стороны во все время движения тел или зарядов. Вектор расстояния между телами или зарядами $\bar{r} = \bar{r}_1 - \bar{r}_2$ и равенство (4) запишем в проекции на ось Or

$$-m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0, \quad -r = -r_1 - r_2. \quad (7)$$

Учитывая, что $v_i = dr_i / dt$ ($i=1, 2$) и дифференцируя $r = r_1 + r_2$, из выражений (7) получим следующую систему уравнений

$$\begin{cases} m_1 dr_1 - m_2 dr_2 = 0 \\ dr_1 + dr_2 = dr \end{cases}, \quad (8)$$

решением которой являются равенства

$$dr_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} dr, \quad dr_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} dr. \quad (9)$$

Из первого уравнения системы (8) следует равенство

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{dr_1}{dr_2}. \quad (10)$$

Учитывая соотношение Эйнштейна $E = mc^2$, запишем изменения масс тел m_1 и m_2

$$dm_1 = F \cdot dr_1 / c^2, \quad dm_2 = F \cdot dr_2 / c^2, \quad (11)$$

где $F = -\frac{Gm_1m_2}{r^2}$ – для гравитационного взаимодействия тел и

$F = \frac{q_1q_2}{r^2}$ – для электрического взаимодействия зарядов, при

котором учитываются знаки зарядов q_1 и q_2 . Поделив почленно друг на друга равенства (11), получим

$$\frac{dm_1}{dm_2} = \frac{dr_1}{dr_2}. \quad (12)$$

Приравняв левые части равенств (10) и (12) друг другу найдем, что

$$\frac{dm_1}{dm_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow m_1 dm_1 = m_2 dm_2. \quad (13)$$

Проинтегрировав равенство (13), получим

$$m_2^2 - m_1^2 = const. \quad (14)$$

Выражение (14) представляет собой новый закон сохранения при одномерном движении двух гравитационно взаимодействующих тел или двух взаимодействующих электрических зарядов. Учитывая начальные значения масс при $t = 0$, выражение (14) запишем в виде

$$m_2^2 - m_1^2 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2 = \Delta_0. \quad (15)$$

2. Одномерное движение двух тел.

Пусть для определенности $\tilde{m}_{20} > \tilde{m}_{10}$. При гравитационном взаимодействии двух тел согласно выражениям (9) и (11) изменение массы m_1 запишется в виде

$$dm_1 = -\frac{G}{c^2 r^2} \cdot \frac{m_1 m_2^2}{m_1 + m_2} dr, \quad (16)$$

где G – гравитационная постоянная, c – скорость света в вакууме.

Выразив из (15) $m_2 = \sqrt{m_1^2 + \Delta_0}$ и подставив эту массу в равенство (16), получим после его интегрирования следующее выражение

$$\int \frac{m_1 + \sqrt{m_1^2 + \Delta_0}}{m_1(m_1^2 + \Delta_0)} dm_1 = \frac{G}{c^2 r} + C, \tag{17}$$

где C – постоянная интегрирования. Равенство (17) запишем в виде

$$\int \frac{dm_1}{m_1^2 + (\sqrt{\Delta_0})^2} + \frac{1}{2} \int \frac{d(m_1^2)}{m_1^2 \sqrt{m_1^2 + \Delta_0}} = \frac{G}{c^2 r} + C. \tag{18}$$

Для $\Delta_0 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2 > 0$ равенство (18) после вычисления интегралов запишется в следующем виде

$$\frac{1}{\sqrt{\Delta_0}} \operatorname{arctg} \frac{m_1}{\sqrt{\Delta_0}} + \frac{1}{2\sqrt{\Delta_0}} \ln \frac{\sqrt{m_1^2 + \Delta_0} - \sqrt{\Delta_0}}{\sqrt{m_1^2 + \Delta_0} + \sqrt{\Delta_0}} = \frac{G}{c^2 r} + C.$$

Учитывая начальные значения при $t = 0$: $m_1 = \tilde{m}_{10}$, $r = r_0$ и выражение $\Delta_0 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2$, находим постоянную интегрирования C . После чего это равенство запишется так

$$\operatorname{arctg} \frac{m_1}{\sqrt{\Delta_0}} - \operatorname{arctg} \frac{\tilde{m}_{10}}{\sqrt{\Delta_0}} + \ln \sqrt{\frac{\sqrt{m_1^2 + \Delta_0} - \sqrt{\Delta_0}}{\sqrt{m_1^2 + \Delta_0} + \sqrt{\Delta_0}} \cdot \frac{\tilde{m}_{20} + \sqrt{\Delta_0}}{\tilde{m}_{20} - \sqrt{\Delta_0}}} = \frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0}, \tag{19}$$

где $r_g = G\sqrt{\Delta_0} / c^2$, $\Delta_0 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2$, $\tilde{m}_{20} > \tilde{m}_{10}$. Равенство (19) является точным и, как видно из его записи, выразить из него m_1 в аналитическом виде не представляется возможным. Масса $m_2 = \sqrt{m_1^2 + \Delta_0}$ определяется через массу m_1 . Видимо, нечто подобное будет иметь место и в задаче двух тел, которая в настоящее время решена в точном виде лишь в классической механике, в которой массы тел считаются постоянными. Так как массу m_1 из равенства (19) в точном виде выразить нельзя, то ограничимся двумя приближениями. При этом остается не охваченной большая область значений масс m_1 и m_2 , находящихся вне рассмотренных ниже двух приближений.

Приближение 1: $\tilde{m}_{20} \gg \tilde{m}_{10}$ и $\tilde{m}_{20} \gg \tilde{m}_1$. Прделав необходимые упрощения и пренебрегая членами более высокого порядка малости, равенство (19) запишется в более простом виде

$$\frac{m_1 - \tilde{m}_{10}}{\tilde{m}_{20}} + \ln \frac{m_1}{\tilde{m}_{10}} = \frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0}, \quad (20)$$

откуда находим выражение для массы

$$m_1 = \tilde{m}_{10} \exp \frac{\tilde{m}_{10} - m_1}{\tilde{m}_{20}} \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right). \quad (21)$$

Так как $\left| \frac{\tilde{m}_{10} - m_1}{\tilde{m}_{20}} \right| \ll 1$, то упростим первую экспоненту в (21)

$\exp \frac{\tilde{m}_{10} - m_1}{\tilde{m}_{20}} \approx 1 + \frac{\tilde{m}_{10} - m_1}{\tilde{m}_{20}}$, после чего из (21) получим

$$m_1 = \frac{\lambda \tilde{m}_0 \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right)}{1 + \lambda \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right)} = \lambda \tilde{m}_0 \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right) \left(1 - \lambda \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right) \right)$$

где $\lambda = \tilde{m}_{10} / \tilde{m}_{20} \ll 1$, $\tilde{m}_0 = \tilde{m}_{10} + \tilde{m}_{20}$. Выражение (22) запишем в более удобном для дифференцирования виде

$$m_1 = \lambda \tilde{m}_0 \left(\exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right) - \lambda \exp \left(\frac{2r_g}{r} - \frac{2r_g}{r_0} \right) \right). \quad (23)$$

Из (15) найдем выражение для массы

$m_2 = \sqrt{m_1^2 + \Delta_0} \approx \tilde{m}_{20} + \frac{m_1^2 - \tilde{m}_{10}^2}{2\tilde{m}_{20}}$. Подставив сюда (23), получим

$$m_2 = \tilde{m}_{20} \left(1 - \frac{\lambda^2}{2} \right) + \frac{\lambda^2 \tilde{m}_0^2}{2 \tilde{m}_{20}} \left(\exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right) - \lambda \exp \left(\frac{2r_g}{r} - \frac{2r_g}{r_0} \right) \right)^2. \quad (24)$$

В выражениях (23) и (24) $r_g = G\sqrt{\Delta_0} / c^2 = G\tilde{m}_{20} / c^2$.

Приближение 2: $\frac{m_1}{\sqrt{\Delta_0}} \gg 1, \quad \frac{\tilde{m}_{10}}{\sqrt{\Delta_0}} \gg 1, \quad \frac{\tilde{m}_{20}}{\sqrt{\Delta_0}} \gg 1.$

В этом случае массы m_1 и m_2 сравнимы между собой и полагаем для определенности $\tilde{m}_{20} > \tilde{m}_{10}, \quad \tilde{m}_{20} > m_1$. Тогда равенство (19) после упрощений запишется в виде

$$-\frac{\sqrt{\Delta_0}}{m_1} + \frac{\sqrt{\Delta_0}}{\tilde{m}_{10}} + \ln \left(1 + \frac{\sqrt{\Delta_0}}{\tilde{m}_{20}} - \frac{\sqrt{\Delta_0}}{m_1} \right) = \frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0}, \quad (25)$$

где $r_g = G\sqrt{\Delta_0} / c^2$. Из равенства (25) находим выражения для масс

$$m_1 = \frac{\sqrt{\Delta_0} \left(1 + \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right) \right)}{1 + \frac{\sqrt{\Delta_0}}{\tilde{m}_{20}} - \left(1 - \frac{\sqrt{\Delta_0}}{\tilde{m}_{10}} \right) \exp \left(\frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r_0} \right)}, \quad (26)$$

$$m_2 = \sqrt{m_1^2 + \Delta_0} \approx m_1 + \frac{\Delta_0}{2m_1}. \quad (27)$$

Для тела с массой m_1 запишем уравнение движения

$$\frac{d}{dt}(m_1 v_1) = -\frac{Gm_1 m_2}{r^2}, \quad (28)$$

где v_1 – проекция скорости \bar{v}_1 на вектор \bar{r}_1 , r – расстояние между телами m_1 и m_2 . Учитывая выражение для dr_1 из (9), запишем

$$v_1 = \frac{dr_1}{dt} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r', \quad \text{где } r' = \frac{dr}{dt}.$$

Подставив это выражение для v_1 в уравнение (28) и продифференцировав его левую часть по

времени, после упрощений получим уравнение движения тела m_1 относительно тела m_2

$$\frac{m_1^2 m_2' + m_2^2 m_1'}{m_1 m_2 (m_1 + m_2)} r' + r'' = -\frac{G(m_1 + m_2)}{r^2}, \quad (29)$$

где m_1' , m_2' – производные масс по времени из формул (23), (24) для 1-го приближения и из (26), (27) – для 2-го приближения; r' , r'' – соответственно первая и вторая производные по времени. Разрешив уравнение (29) относительно r' и подставив в равенства (9) $dr = r'dt$, найдем после интегрирования выражения для r_1 и r_2 .

3. Одномерное движение двух электрических зарядов.

При взаимодействии электрических зарядов, в отличие от гравитационного взаимодействия тел, массы тел, на которых сосредоточены заряды q_1 и q_2 , выражаются через расстояние r между зарядами явным образом. Необходимые предварительные условия и вычисления, которые мы будем здесь использовать, уже содержатся в п. 1 данной работы. Так же, как и раньше, положим для определенности $\tilde{m}_{20} > \tilde{m}_{10}$, тогда из (15) следует, что $\Delta_0 > 0$. Из выражений (9) и (11) запишем изменение массы m_1

$$dm_1 = \frac{q_1 q_2}{c^2 r^2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} dr. \quad (30)$$

Подставив из (15) $m_2 = \sqrt{m_1^2 + \Delta_0}$ в равенство (30) и

проинтегрировав его, получим $\int \left(\frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 + \Delta_0}} + 1 \right) dm_1 = \int \frac{q_1 q_2}{c^2 r^2} dr$,

откуда после вычисления интегралов будем иметь

$$\sqrt{m_1^2 + \Delta_0} + m_1 = -\frac{q_1 q_2}{c^2 r} + C. \quad (31)$$

Учитывая Δ_0 из (15), при $t = 0$ найдем постоянную интегрирования $C = \tilde{m}_0 + q_1 q_2 / c^2 r_0$, где $\tilde{m}_0 = \tilde{m}_{10} + \tilde{m}_{20}$. Окончательно из (31) получим

$$m_1 + \sqrt{m_1^2 + \Delta_0} = \tilde{m}_0 + \frac{q_1 q_2}{c^2} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right), \quad (32)$$

где $q_1 q_2 < 0$ для разноименных зарядов и $q_1 q_2 > 0$ для одноименных зарядов, $\sqrt{m_1^2 + \Delta_0} = m_2$. Введем обозначение

$$\frac{q_1 q_2}{c^2} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right) = m_{\text{вз}} - \text{масса, на которую увеличивается или}$$

уменьшается общая масса двух тел m_1 и m_2 при взаимодействии зарядов q_1 и q_2 . При $m_{\text{вз}} > 0$ общая масса двух тел m_1 и m_2 увеличивается, а при $m_{\text{вз}} < 0$ – уменьшается. Назовем эту массу $m_{\text{вз}}$ массой взаимодействия. С учетом этого обозначения равенство (32) запишется в виде

$$m_1 + m_2 = \tilde{m}_0 + m_{\text{вз}}. \quad (33)$$

Из равенств (32) и (33) выражения для масс запишутся в виде

$$m_1 = \frac{\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}}}{2} - \frac{\Delta_0}{2(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})}, \quad (34)$$

$$m_2 = \tilde{m}_0 + m_{\text{вз}} - m_1, \quad (35)$$

где $\tilde{m}_0 = \tilde{m}_{10} + \tilde{m}_{20}$, $\Delta_0 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2$, $m_{\text{вз}} = \frac{q_1 q_2}{c^2} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right)$.

По 2-му закону Ньютона запишем уравнение движения для первого заряда q_1

$$\frac{d}{dt}(m_1 r_1') = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (36)$$

где обозначения q_1 и q_2 учитывают знаки зарядов (+) или (-).

Выразив из (9) $r_1' = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r'$ и подставив в (36), получим

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} r' \right) = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (37)$$

где r' – производная по времени. Продифференцировав левую часть уравнения (37) по времени и вычислив производную

$\frac{d}{dt} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right) = \frac{q_1 q_2}{4c^2} \left(1 + \frac{3\Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4} \right) \frac{r'}{r^2}$, получим уравнение

относительного движения заряда q_1 относительно заряда q_2 в виде

$$\left(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}} - \frac{\Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^3} \right) r'' + \frac{q_1 q_2}{c^2} \left(1 + \frac{3\Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4} \right) \frac{r'^2}{r^2} = \frac{4q_1 q_2}{r^2} \quad (38)$$

где $\tilde{m}_0 = \tilde{m}_{10} + \tilde{m}_{20}$, $m_{\text{вз}} = \frac{q_1 q_2}{c^2} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right)$, $\Delta_0 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2$,

r' , r'' – производные по времени.

В уравнении (38) введя подстановку $r' = \dot{\zeta}(r) \Rightarrow r'' = \dot{\zeta}' \dot{\zeta}$ и сделав замену переменной $\zeta = 1/r \Rightarrow \dot{\zeta}'_r = -\zeta^2 \dot{\zeta}'_\zeta$, получим

$$\begin{aligned} \dot{\zeta}' - \frac{q_1 q_2 \left((\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4 + 3\Delta_0^2 \right)}{c^2 (\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}}) \left((\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4 - \Delta_0^2 \right)} \dot{\zeta} &= \\ = -\frac{4q_1 q_2 (\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^3}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4 - \Delta_0^2} \cdot \frac{1}{\dot{\zeta}} & \end{aligned} \quad (39)$$

Полученное уравнение (39) является уравнением Бернулли, которое решается его же методом. Пусть

$$\dot{\zeta} = u(\xi)w(\xi), \quad (40)$$

тогда подставив $\dot{\zeta}(\xi)$ из (40) и $\dot{\zeta}' = u'w + uw'$ в уравнение (39) и наложив на функции $u(\xi)$ и $w(\xi)$ известное дополнительное условие, получим два следующих уравнения

$$u' - \frac{q_1 q_2}{c^2} \cdot \frac{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4 + 3\Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}}) \left((\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4 - \Delta_0^2 \right)} u = 0, \quad (41)$$

$$uw' = -\frac{4q_1 q_2 (\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^3}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}})^4 - \Delta_0^2} \cdot \frac{1}{uw}, \quad (42)$$

где $\tilde{m}_0 + m_{\text{вз}} = \tilde{m}_0 + \frac{q_1 q_2}{c^2} (\xi_0 - \xi)$.

Частным решением уравнения (41) является

$$u = \frac{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^3}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^4 - \Delta_0^2} . \quad (43)$$

Подставив это решение в уравнение (42), получим его решение

$$w = \pm 2c \sqrt{\frac{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^4 + \Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^2} + C} , \quad (44)$$

где C – постоянная интегрирования. Подставив решения (43) и (44) в (40), получим общее решение уравнения (39)

$$\tilde{\chi}(\xi) = \pm \frac{2c(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^3}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^4 - \Delta_0^2} \sqrt{\frac{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^4 + \Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^2} + C} . \quad (45)$$

Из введенных обозначений $r'_i = \tilde{\chi}(\xi)$, $\xi = 1/r$ следует

$$r' = -\xi' / \xi^2, \quad \xi' = -\xi^2 \tilde{\chi},$$

где производные взяты по времени.

Подставив в уравнение (45) $\tilde{\chi} = -\xi' / \xi^2$, получим уравнение для функции $\xi(t)$ в следующем виде

$$\xi' = -(\pm) \frac{2c(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^3 \xi^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^4 - \Delta_0^2} \sqrt{\frac{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^4 + \Delta_0^2}{(\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}})^2} + C} , \quad (46)$$

где $\tilde{m}_0 + m_{\text{в3}} = \tilde{m}_0 + \frac{q_1 q_2}{c^2} (\xi_0 - \xi)$, $\tilde{m}_0 = \tilde{m}_{10} + \tilde{m}_{20}$,

$\Delta_0 = \tilde{m}_{20}^2 - \tilde{m}_{10}^2$. Используя начальные значения при $t = 0$:

$$\xi_0 = 1/r_0, \quad r'_0 = v_0 = v_{10} + v_{20} = -\xi'_0 / \xi_0^2 \Rightarrow \xi'_0 = -v_0 / r_0^2,$$

из уравнения (46) найдем постоянную интегрирования

$$C = \frac{\xi_0'^2 (\tilde{m}_0^4 - \Delta_0^2)^2}{4c^2 \tilde{m}_0^6 \xi_0^4} - \frac{\tilde{m}_0^4 + \Delta_0^2}{\tilde{m}_0^2} . \quad (47)$$

Знак (+) или (-) из (±) в (46) выбираем по знаку проекции скорости v_0 в момент времени $t = 0$. Интегрирование выражения (46) приводит к эллиптическому интегралу, который при необходимости можно свести к известным табличным эллиптическим интегралам.

Литература

1. Недосекин Ю.А. Зависимость массы тела от его расстояния до гравитационного центра притяжения. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2006, вып. 4.
2. Недосекин Ю.А. Погрешность в классической теории взаимодействующих тел. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2006, вып. 4.

Недосекин Ю.А.

Теория абсолютного движения

Аннотация

Рассмотрены ньютоновские понятия абсолютного и относительного пространства и движения, абсолютного времени, массы и инерции и критические замечания этих понятий ряда авторов. Показана несостоятельность критики указанных ньютоновских понятий со стороны маховских и эйнштейновских релятивистов. Приведены соображения в пользу существования абсолютного пространства и движения. Предложен опыт для измерения скорости движения Земли относительно абсолютного пространства. Установлена причина выполнимости классического принципа относительности. Выяснено происхождение инертных свойств тела.

Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений.

И. Ньютон

Содержание

1. Предварительные замечания
 2. Абсолютное и относительное движение
 3. Принцип относительности
 4. Опыт по измерению анизотропии скорости электронного луча
 5. Абсолютное время
 6. Инерция и масса материи
- Литература

1. Предварительные замечания

С античных времен и до наших дней вопросы движения привлекают внимание исследователей. Продолжаются и поныне дискуссии о понятиях массы, энергии, пространства, времени и относительности движения. Написаны тысячи статей и книг, посвященных этим вопросам, но прогресса в правильном понимании этих понятий не достигнуто и по настоящее время. Под

правильным пониманием мы имеем в виду согласие выводов, полученных на основе использования физических понятий, с наблюдениями. Надо признать, что в подавляющем большинстве опубликованных работ, посвященных этим вопросам, не содержится каких-либо положительных знаний, соответствующих опыту. В этих работах в основном разбираются понятия и положения, изложенные в трудах классиков физической науки, дается их критический анализ. Некоторые авторы, не согласные с трудами классиков науки, предлагают и свое понимание этих вопросов. Можно сказать, что сколько ученых, столько и мнений. К науке это не имеет никакого отношения. Заслуживают внимания лишь только те исследователи, в трудах которых проливается свет на более правильное понимание тех или иных вопросов, согласующееся с наблюдениями или же предполагающееся на такое согласие в будущем. Но таковых, как известно, мало.

В настоящей работе мы проанализируем указанные выше понятия на основе труда И. Ньютона “Математические начала натуральной философии”, переведенного в 1936 году с латыни академиком А.Н. Крыловым и опубликованного в [1]. Первое издание своего труда Ньютон опубликовал в 1686 году, в котором подробно рассмотрел вопросы относительного и абсолютного движения. Почти два века идеи Ньютона об абсолютном движении и абсолютном пространстве не вызывали у исследователей серьезных возражений. Правда, в связи с изучением световых явлений, абсолютное пространство Ньютона заменили на пространство, заполненное некоей гипотетической средой, названной Р. Декартом *эфиром*. Декарт ввел свое понятие эфира еще задолго до появления понятия ньютоновского абсолютного пространства. Предполагалось, что свет есть колебания этой среды. Идея же абсолютного движения при этом сохранилась и за абсолютное движение стали принимать движение относительно эфира. Ньютон эфира не принял, он оставался верен своему убеждению в существовании абсолютного пространства, относительно которого происходит абсолютное истинное движение. В своем развитии понятие эфира неоднократно претерпевало изменения, начиная от механического эфира до электромагнитного, появившегося после создания во второй половине 19-го века максвелловской электродинамики. В это же самое время некоторые исследователи, в том числе и Э. Мах, усердно начали отрицать абсолютное движение, признавая только за относительным движением фактор, влияющий на физические

явления. Так появился релятивизм, развившийся в дальнейшем в эйнштейновский релятивизм, существующий в официальной науке и поныне. В связи с появлением специальной теории относительности, созданной в 1905 году А. Эйнштейном, необходимо заметить, что эйнштейновские релятивисты практически голословно и иногда с насмешкой и издевательством стали отрицать абсолютное пространство и абсолютное движение как не имеющие физического смысла. Сама же специальная теория относительности полна недоразумений и противоречий, на которые сторонники этой фальшивой теории закрывают глаза. А. Эйнштейн создал свою теорию, исходя из ложных посылок, совместив принцип относительности с принципом постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчета. И чтобы такое совмещение не выглядело чистейшим абсурдом ему пришлось отказаться от привычных классических представлений о пространстве и времени и принять для инерциальных систем отсчета преобразование Лоренца. Так возник специальный принцип относительности, гласящий, что все физические законы протекают в любой инерциальной системе отсчета одинаковым образом. Уравнения же, описывающие физические законы, должны быть теперь инвариантны относительно лоренцевых преобразований. Опытным подтверждением специального принципа относительности признается отрицательный результат опыта Майкельсона-Морли по обнаружению эфирного ветра, хотя сам Эйнштейн и утверждает, что во время создания специальной теории относительности ему не было известно об этом эксперименте [2]. Заметим по этому поводу, что отрицательный результат опыта Майкельсона-Морли вовсе не приводит к постулату постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчета. Этот опыт показывает лишь только невозможность обнаружения эфирного ветра. Сторонники эфира стали утверждать, что эфир увлекается вблизи поверхности Земли, вследствие чего эфирный ветер и не был обнаружен. Появились соображения, что с увеличением высоты над поверхностью Земли, эфир увлекается не полностью. Эту идею долгое время экспериментально проверял Д.К. Миллер, который в 1925 году доложил о своих результатах Вашингтонской Академии Наук. Миллер утверждал, что в опытах 1925 года на горе Маунт Вилсон ему удалось обнаружить эфирный ветер со скоростью приблизительно 10 км/с. Достаточно подробный обзор экспериментов по обнаружению эфирного ветра, в котором содержатся и работы Миллера, написан В.А. Ацюковским [3].

Другие экспериментаторы не подтвердили опытов Миллера и более поздние разнообразные опыты также не позволили обнаружить существование эфирного ветра. Все это сильно укрепило позиции сторонников специальной теории относительности, несмотря на ее внутреннюю противоречивость, проявляющуюся хотя бы в парадоксе часов [4]. Эйнштейн не позволил себе труда заняться выяснением причины отрицательного результата опыта Майкельсона-Морли (мы все же предполагаем, что результаты этого опыта были ему известны еще до создания специальной теории относительности, поскольку первые подобные опыты были проведены в 1881 и 1887 годах). Если Эйнштейн действительно не знал о результатах опыта Майкельсона-Морли, то его постулат о постоянстве скорости света во всех инерциальных системах отсчета был принят им априори, что вообще говоря является в физике недопустимым. Эйнштейн придерживался дедуктивного метода построения физической теории. На такой же позиции, как известно, стоял и Р. Декарт, считавший, что надо проищательностью ума вперед установить первопричины и из них выводить следствия. Противоположной точки зрения придерживался И. Ньютон, считавший, что при изучении природы надо от наблюдаемых явлений восходить к установлению причин, коими они объясняются. Эйнштейн решил пойти другим путем, провозгласив, что свойства пространства и времени таковы, что величина скорости света одинакова по всем направлениям во всех инерциальных системах отсчета. Теперь мы видим к чему привел дедуктивный подход Эйнштейна к построению физической теории. Эта же ошибка была повторена Эйнштейном и при создании им общей теории относительности, о которой в настоящей работе мы распространяться не будем. Скажем только, что она также основана на неверном суждении о причине тяготения и потому является ошибочной теорией. Наш взгляд на природу тяготения изложен в работе [5]. Причину же отрицательного результата опыта Майкельсона-Морли мы усматриваем в нашей гипотезе увлечения света гравитационным полем Земли [6]. Можно еще много говорить о недостатках и порочности специальной теории относительности, но и сказанного уже вполне достаточно, чтобы усомниться в ее справедливости.

Анализируя “Начала” Ньютона, мы будем приводить также и выдержки из работ других авторов, затрагивающих обсуждаемые вопросы. Чтобы отличить выдержки из работы Ньютона и других

авторов от нашего изложения, мы будем писать их более мелким шрифтом.

2. Абсолютное и относительное движение

Ньютон [1, стр. 30]

“II. *Абсолютное пространство* по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

III. *Место* есть часть пространства, занимаемая телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным или относительным.

IV. *Абсолютное движение* есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, *относительное* – из относительного в относительное же.

Так, на корабле, идущем под парусами, относительное место тела есть та часть корабля, в которой тело находится, напр. та часть трюма, которая заполнена телом и которая, следовательно, движется вместе с кораблем. Относительный покой есть пребывание тела в той же самой области корабля или в той же самой части его трюма.

Истинный покой есть пребывание тела в той же самой части того неподвижного пространства, в котором движется корабль со всем в нем находящимся. Таким образом, если бы Земля на самом деле покоилась, то тело, которое по отношению к кораблю находится в покое, двигалось бы в действительности с тою абсолютною скоростью, с которою корабль идет относительно Земли. Если же и сама Земля движется, то истинное абсолютное движение тела найдется по истинному движению Земли в неподвижном пространстве и по относительным движениям корабля по отношению к Земле и тела по кораблю”.

Ньютон [1, стр. 32]

“Как неизменен порядок частей времени, так неизменен и порядок частей пространства. Если бы они переместились из мест своих, то они продвинулись бы (так сказать) в самих себя, ибо время и пространство составляют как бы вместилница самих себя и всего существующего. Во времени все располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве – в смысле порядка положения. По самой своей сущности они суть места, приписывать же первичным местам движения нелепо. Вот эти-то места и суть места абсолютные, и только перемещения из этих мест составляют абсолютные движения.

Однако совершенно невозможно ни видеть, ни как-нибудь иначе различить при помощи наших чувств отдельные части этого пространства одну от другой, и вместо них приходится обращаться к измерениям, доступным чувствам. По положениям и расстояниям предметов от какого-либо тела, принимаемого за неподвижное, определяем места вообще, затем и о всех движениях судим по отношению к этим местам, рассматривая тела лишь как переносящиеся по ним. Таким образом вместо абсолютных мест и движений пользуются относительными; в делах

житейских это не представляет неудобства, в философских необходимо отвлечение от чувств. Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих.

Абсолютное и относительное движение и абсолютный и относительный покой отличаются друг от друга: свойствами, причинами и проявлениями.

Свойство покоя состоит в том, что тела истинно покоящиеся находятся в покое и друг относительно друга. Возможно, что какое-нибудь тело в области неподвижных звезд, а может быть, и много далее, находится в абсолютном покое, но узнать по взаимному положению тел в наших областях, не сохраняет ли какое-нибудь из них постоянное положение относительно этого весьма отдаленного нельзя. Невозможно также определить истинный их покой по относительному их друг к другу положению.

Свойство движения состоит в том, что части, сохраняющие постоянное положение по отношению к целому, участвуют в движении этого целого. Так, все части вращающихся тел стремятся удалиться от оси вращения, для движущихся поступательно полное движение образуется из соединения отдельных частных движений. Следовательно, когда движутся окружающие тела, то движутся и те, которые по отношению к ним находятся в покое; поэтому нельзя определить истинное абсолютное движение по перемещениям от соседних тел, рассматриваемых как неподвижные. Эти тела должны быть действительно в покое, а не только приниматься за покоящиеся. В противном случае все содержащиеся тела участвовали бы в истинных движениях тел, их окружающих, и если бы это последнее движение перекрыть, то они оказались бы на самом деле не в покое, а лишь представлялись до тех пор находящимися в таковом”.

Ньютон [1, стр. 33]

“В тесной связи с предыдущим свойством находится такое: тело, движущееся в подвижном пространстве, участвует и в движении этого пространства, поэтому тело, движущееся от подвижного места, участвует в движении своего места. Следовательно, все движения, совершающиеся от подвижных мест, суть лишь составляющие части полных абсолютных движений, и всякое полное движение составляется из движения тела от первого места своего, из движения этого первого от его места и так далее, пока не достигнем до места неподвижного, как это было пояснено примером моряка, приведенным выше. Таким образом полные абсолютные движения могут быть определены не иначе, как при помощи мест неподвижных, почему я и относил их выше к местам неподвижным, относительные же движения – к местам подвижным. Места же неподвижны, не иначе, как если они из вечности в вечность сохраняют постоянные взаимные положения и,

следовательно, остаются всегда неподвижными и образуют то, что я называю неподвижным пространством”.

Ньютон не пользуется в своем труде понятиями системы координат и системы отсчета. Его подвижное и неподвижное пространства следует понимать как движущуюся и неподвижную систему отсчета соответственно. Он вводит понятие «место», которое может быть как абсолютным так и неподвижным. «Место» по Ньютону – это часть пространства (объем), занимаемая телом. Перемещение тела из одного места в другое является движением этого тела. Совокупность абсолютных мест составляет ньютоновское абсолютное пространство. И поскольку абсолютные места неподвижны, то и абсолютное пространство также неподвижно. Неподвижность абсолютных мест и абсолютного пространства противопоставляется относительным местам и движениям и потому по отношению к ним и следует понимать неподвижность абсолютных мест и абсолютного пространства, так как абсолютные места являются первичными понятиями и приписывать им движения нелепо. Зачем Ньютону потребовалось так много излагать про понятия абсолютных и относительных мест? Это делалось, по нашему пониманию, для того, чтобы описать движение тела в виде перемещения из одного места в другое и тем самым выделить существование относительного и абсолютного движения. Для Ньютона истинным являлось только абсолютное движение, в то время как относительное движение истинным не является. Отличить же истинное движение от относительного Ньютону не представлялось возможным. Напомним, что под относительным движением Ньютон понимал перемещение тела из одного относительного места в другое. Пребывание тела в абсолютном месте характеризует абсолютный покой тела, перемещение же тела из одного абсолютного места в другое – абсолютное движение. Понятие «место» является всего лишь координатами тела в той или иной системе отсчета. Координаты протяженного тела обычно определяют через координаты его центра масс. Во многих областях физики под телом понимают материальную точку, имеющую массу, равную массе рассматриваемого тела, положение которой определяется координатами его центра масс в выбранной системе отсчета.

Неподвижное пространство Ньютона – это его абсолютное пространство. Ньютон не дает определение самого пространства, видимо считая его и без того ясным. Точно в таком же положении находится и его понятие движущегося пространства, выраженного

им через понятие «относительное место». Исходя из этого, под пространствами Ньютона мы будем понимать соответствующие системы отсчета, при помощи которых определяется взаимное расположение тел относительно друг друга, характеризуемое расстояниями между ними. Совокупность расстояний между телами в выбранной системе отсчета будем называть пространством. Хотя Ньютон и не использует понятие системы отсчета, его суждения об относительном и абсолютном движении мы считаем верными.

Сознавая, что определить абсолютное движение по взаимному расположению тел или по их относительному движению невозможно, он тем не менее не отказывается от понятий абсолютного движения и покоя, считая их истинными. Невозможность наблюдения абсолютного движения и абсолютного покоя при помощи измерений не является для Ньютона причиной отказа от этих понятий. Его убежденность в истинности этих понятий вытекает из закона инерции. Он интуитивно чувствует, что в абсолютно движущемся теле что-то должно происходить, нечто такое, что в его время это невозможно объяснить. Это нечто, происходящее в абсолютно движущемся теле, и придает ему убежденность в истинности абсолютного движения и абсолютного покоя. Из этого представления и вытекает его определение массы как меры инерции тела, о чем он убедительно сформулировал в виде понятия «врожденная сила материи» (Ньютон [1, стр. 25]).

Ньютон [1, стр. 34]

“Причины происхождения, которыми различаются истинные и кажущиеся движения, суть те силы, которые надо к телам приложить, чтобы произвести эти движения. Истинное абсолютное движение не может ни произойти, ни измениться иначе, как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительное движение тела может быть и произведено и изменено без приложения сил к этому телу; достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется. Когда эти тела будут уступать действию сил, то будет изменяться и то относительное положение, которым определяется относительный покой или относительное движение. Наоборот, истинное движение всегда изменяется от приложения к телу сил, относительное же движение может при таком приложении сил и не изменяться Таким образом всякое относительное движение может быть изменяемо такими действиями, при которых абсолютное движение не меняется, и может сохраняться при таких, от которых абсолютное изменяется, так что абсолютное движение совершенно не зависит от тех соотношений, которыми определяется движение относительное”.

Ньютон видел причину происхождения абсолютного движения в действиях силы на тело. Изменение же движения, вызванное без воздействия силы, характеризует относительное движение. С современной точки зрения это значит, что изменением системы отсчета изменяем и относительное движение тела. Если на тело действует сила, являющаяся причиной абсолютного движения, то тело приобретает кинетическую энергию, которая является величиной абсолютной, а не относительной, как это принято считать в специальной теории относительности. Как мы уже упоминали ранее [7, стр. 115], кинетическая энергия является материальной, т.е. движущееся тело содержит в себе дополнительную материю, образующуюся за счет поглощения телом элементов поля из ускоряющего силового поля. Поясним точнее, что мы понимаем под выражением «кинетическая энергия материальна». Часто бывает так, что исследователи, занимающиеся изучением Природы, не всегда терминологически точно выражают свою мысль, хотя почти все из них прекрасно понимают о чем идет речь. Но существует множество “непонятливых” как среди физиков, так и среди философов, которые цепляются за слова, пытаясь разобраться в той или иной фразе. Возникают бесполезные дискуссии, например, по поводу соотношения Эйнштейна $E = mc^2$ [8]. Итак, что же мы понимаем под материальностью кинетической энергии. Прежде всего заметим на радость всем материалистам, что кинетическая энергия не является материей.

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ – ЭТО ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИЖУЩЕЙСЯ МАТЕРИИ

Кинетическая энергия характеризует то количество элементов поля, которое поглотило тело при своем ускорении в некотором силовом поле, поэтому она определяет количество дополнительной материи, которое приобрело тело при своем ускорении. Вот в этом смысле мы и понимаем ее материальность. Таким образом, кинетическая энергия тела пропорциональна количеству элементов поля, поглощенному ускоренным телом из ускоряющего поля. Это обстоятельство убедительным образом доказывается в процессах ускорения заряженных частиц в ускорителях до высоких энергий. При столкновении частиц высоких энергий с мишенью или друг с другом материальная структура, соответствующая кинетической энергии в указанном выше смысле, высвобождается из частиц и частично реализуется в виде новых рожденных частиц с ненулевой массой покоя. В специальной теории относительности кинетическая энергия является величиной относительной. Это значит, что изменением системы отсчета может быть изменена

кинетическая энергия тела. Но если, как это было изложено выше, кинетической энергии отвечает некоторое количество дополнительной материи в теле, то ясно, что изменением системы отсчета эту дополнительную материю не создать. Следовательно, процессы рождения новых частиц при столкновении частиц высоких энергий убедительным образом доказывают абсолютность кинетической энергии, не зависящей от изменения системы отсчета.

Истинное абсолютное движение по Ньютону происходит по причине действия силы на тело, в результате чего оно приобретает скорость, а следовательно, и кинетическую энергию. Кинетическая энергия определяет скорость движения тела относительно абсолютной системы отсчета, т.е. абсолютную скорость тела. Чем больше кинетическая энергия тела, тем больше его абсолютная скорость. Если кинетическая энергия у тела равна нулю, то тело находится в абсолютном покое. Относительная же скорость тела не определяет его кинетическую энергию. Ясно, что по положениям тел друг относительно друга и по их относительным движениям невозможно определить истинное абсолютное движение. Но, так как скорость тела относительно абсолютной системы отсчета не может превышать скорости света, как это мы знаем теперь, то, находясь в движущейся системе отсчета, мы можем определить ее скорость относительно абсолютной системы отсчета, измеряя время движения тела в двух противоположных направлениях на одинаковых участках пути. То, что не удалось определить в опытах Майкельсона-Морли при помощи света, удастся при помощи движения материальных тел (частиц). Описание такого опыта предложено нами ниже в пункте 4.

Ньютон [1, стр. 34]

“Проявления, которыми различаются абсолютное и относительное движение, состоит в силах стремления удалиться от оси вращательного движения, ибо в чисто относительном вращательном движении эти силы равны нулю, в истинном же и абсолютном они больше или меньше, сообразно количеству движения. Если на длинной веревке подвесить сосуд и, вращая его, закрутить веревку, пока она не станет совсем жесткой, затем наполнить сосуд водой и, удержав сперва вместе с водою в покое, внезапным действием другой силы привести сосуд во вращение в сторону раскручивания веревки, то сосуд будет продолжать вращаться, причем это вращение будет поддерживаться достаточно долго раскручиванием веревки. Сперва поверхность воды будет оставаться плоской, как было до движения сосуда. Затем сосуд силою, постепенно действующею на воду, заставит и ее участвовать в своем вращении. По мере возрастания вращении вода будет постепенно

отступать от середины сосуда и возвышаться по краям его, принимая впаляющую форму поверхности (я сам это пробовал делать); при усиливающемся движении она все более и более будет подниматься к краям, пока не станет обращаться в одинаковое время с сосудом и придет по отношению к сосуду в относительный покой. Этот подъем воды указывает на стремление ее частиц удалиться от оси вращения, и по этому стремлению обнаруживается и измеряется истинное и абсолютное вращательное движение воды, которое, как видно, во всем совершенно противоположно относительному движению. В начале, когда относительное движение воды в сосуде было наибольшее, оно совершенно не вызывало стремления удалиться от оси – вода не стремилась к окружности и не повышалась у стенок сосуда, а ее поверхность оставалась плоской и истинное вращательное ее движение еще не начиналось. Затем, когда относительное движение уменьшилось, повышение воды у стенок сосуда обнаруживало ее стремление удалиться от оси и это стремление показывало постепенно возрастающее истинное вращательное движение воды, и когда оно стало наибольшим, то вода установилась в покое относительно сосуда. Таким образом это стремление не зависит от движения воды относительно окружающего тела, следовательно по таким движениям нельзя определить истинное вращательное движение тела. Истинное круговое движение какого-либо тела может быть лишь одно в полном соответствии с силою стремления его от оси, относительных же движений, в зависимости от того, к чему они относятся, тело может иметь бесчисленное множество; но, независимо от этих отношений, эти движения совершенно не сопровождаются истинными проявлениями, если только это тело не обладает, кроме этих относительных, и сказанным единственным истинным движением”.

Ньютон привел пример с вращающимся сосудом, наполненным водой, в качестве способа отличить абсолютное вращательное движение от относительного. Ясно, что относительное вращательное движение воды относительно стенок вращающегося сосуда не может вызвать у частиц воды стремления удалиться от оси вращения, ибо нет сил, которые это действие произвели бы. В этом относительном вращательном движении вода не вращается относительно абсолютного пространства. По мере возрастания скорости вращательного движения воды относительно некоторой инерциальной системы отсчета частицы воды стремятся удалиться от оси вращения, создавая тем самым то необходимое давление в воде, которое действует на эти частицы с силой, необходимой для их движения по окружности соответствующего радиуса.

Несмотря на ясность различия между истинным абсолютным вращательным движением и вращательным относительным движением в опыте Ньютона с вращающимся сосудом,

наполненным водой, нашлись исследователи, которые усомнились в объективности такого различия. Одним из таких усомнившихся явился Э. Мах. Прочитируем некоторые его выдержки относительно понятий абсолютного пространства, абсолютного движения, абсолютного и относительного вращательного движения и ньютоновского опыта с вращающимся сосудом.

Мах [9, стр. 195]

“Об абсолютном пространстве и абсолютном движении никто ничего сказать не может; это чисто абстрактные вещи, которые на опыте обнаружены быть не могут. Все наши основные принципы механики представляют собою, как это было уже подробно показано, данные опыта об относительных положениях и движениях тел. Не следует и невозможно принимать их без проверки в областях, в которых их в настоящее время признают правильными. Никто не вправе расширять сферы действия этих основных принципов за пределы опыта”.

Первые строки этого абзаца свидетельствуют о не восприятии ньютоновских понятий абсолютного пространства и абсолютного движения. Тем сильнее величие Ньютона на фоне подобного высказывания. Да, мы наблюдаем только относительные движения тел. Но Ньютон как раз и показал, что истинное движение тела может быть изменено только под действием приложенных к нему сил, в то время как относительное движение тела может быть изменено и без воздействия на него сил. В этом и состоит различие между абсолютным и относительным движением. Поэтому утверждение, что физические явления зависят только от относительных движений, лишено оснований. Возведение относительного движения в ранг объективного фактора, от которого только и могут зависеть физические явления, произошло из поверхностного восприятия относительного движения. Основанием такого взгляда явилась невозможность экспериментального различия относительных движений друг от друга. А раз на опыте невозможно отличить одно относительное движение от другого, то это обстоятельство Мах и ему подобные релятивисты относительность движения возвели в ранг физического принципа, на основе которого и следует строить физическую теорию. Доводы же Ньютона о различении абсолютных и относительных движений релятивисты бездоказательно посчитали неубедительными. Исходя из того, что наблюдаемыми являются лишь только относительные движения, релятивисты поспешно приняли относительность движения за фактор, управляющий физическими явлениями. Именно субъективность восприятия действительности явилась тому

причиной. Как было показано выше, абсолютное движение связано с наличием у тела кинетической энергии, являющейся абсолютной величиной. Мах дальше своего носа ничего не видел, а то что увидел (природу массы тел) противоречит его же высказыванию, содержащемуся в последних строчках приведенного абзаца. Можно согласиться с последними строчками этого абзаца в применении их к принципу относительности Галилея, который, как мы знаем сейчас, имеет приближенный характер и нарушается при более высоких скоростях движения инерциальной системы отсчета.

Мах [9, стр. 206]

“Взгляд, что «абсолютное движение» есть понятие бессмысленное, бессодержательное и научно никуда непригодное, – взгляд, который двадцать лет тому назад вызывал почти всеобщее отчуждение, в настоящее время разделяется многими выдающимися исследователями. В качестве решительных «релятивистов» я мог бы назвать: Сталло, Дж. Томсона, Людвиг Ланге, Лове, МакГрегора, Пирсона, Мансиона, Клейнпетера. Число релятивистов быстро растет и приведенный список наверное уже не полон. Можно надеяться, что скоро не будет уже ни одного выдающегося сторонника противоположного взгляда. Но если и без того малопонятные гипотезы абсолютного пространства и абсолютного времени не выдерживают более критики, то возникает вопрос: каким же образом мы можем придать закону инерции понятный смысл?”

Мах уже привык к голословному отрицанию ньютоновских понятий, не чувствуя сопротивления своим взглядам. Появление же решительных «релятивистов» придает ему уверенность в своих идеалистических измышлениях. Выбросив абсолютное пространство и абсолютное движение из физики, Мах восклицает, каким же образом теперь надо объяснить инерцию тел. Маховское понимание происхождения инерции тел описано ниже в этом пункте и в пункте 6 данной работы.

Эйнштейн находился под сильным впечатлением философских и физических воззрений Маха, что нашло отражение в его работах по теории относительности. Эйнштейн пишет [10]:

“Как бы то ни было, не может быть приемлемой теория, не учитывающая принцип относительности, – принцип, который не опровергается ни одним экспериментальным фактом”, стр.45.

“Давний опыт, не имеющий пока исключений, показывает, что физические явления зависят только от движений тел *относительно* друг друга, т.е. что с физической точки зрения *абсолютного* движения не существует”, стр. 66.

Вот так Эйнштейн категорично объявил об отсутствии абсолютного движения, признав за относительностью движений фактор, влияющий на физические явления. Создателю теории

относительности хорошо было известно, что принцип относительности экспериментально подтверждался лишь только для медленных движений с точностью до существующих погрешностей измерений, включая и скорость орбитального движения Земли (30 км/с), которую с релятивистской точки зрения можно считать малой. Априорное распространение принципа относительности на все скорости движения систем отсчета является неправомерным и не согласуется с установкой Маха – “Никто не вправе расширять сферы действия этих основных принципов за пределы опыта”, [9, стр. 195], с которой следует полностью согласиться.

Мах [9, стр. 197]

“Рассмотрим теперь тот пункт, на котором Ньютон с большим правом как будто основывается в своих различениях относительного и абсолютного движений. Если Земля имеет *абсолютное* вращение около своей оси, то в ней развиваются центробежные силы, она сплющивается, ускорение силы тяжести уменьшается на экватор, плоскость маятника Фуко поворачивается и т.д. Все эти явления исчезают, если Земля остается в покое, а остальные небесные тела вращаются около нее в абсолютном движении, так что в результате получается то же самое *относительное* вращение. Так оно происходит, правда, при том условии, если заранее исходить из представления абсолютного пространства. Но если мы не хотим оставлять почвы фактов, то мы знаем только о пространствах и движениях *относительных*”.

“Система мира нам не дана *дважды* с Землей, покоящейся и вращающейся, а дана только *однажды* с ее единственно поддающимися определению относительными движениями. Мы поэтому не можем сказать, что было бы, если бы Земля не вращалась. Мы можем единственный данный нам случай объяснить различным образом. Но когда наши объяснения таковы, что они оказываются в противоречии с данными опыта, то именно *мы* неправильно объясняем. Основные принципы механики могут быть поэтому так составлены, чтобы и при относительных движениях получались центробежные силы.

Опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой показывает только то, что относительное вращение воды по отношению к *стенкам сосуда* не пробуждает заметных центробежных сил, но что эти последние пробуждаются относительным вращением по отношению к массе Земли и остальным небесным телам. Никто не может сказать, как протекал бы опыт, если бы стенки сосуда становились все толще и массивнее, пока, наконец, толщина их не достигла бы нескольких миль. Налицо перед нами только один опыт и нам остается привести его в согласие со всеми остальными известными нам фактами, но не с произвольными созданиями нашей фантазии”.

В первом из этих двух абзацев Мах соглашается с существованием эффектов, вызванных вращательным движением,

но только при условии принятия существования абсолютного пространства. Но Мах не желает признавать объективность существования абсолютного пространства, вследствие чего строит свою мировоззренческую философию, никоим образом не связанную с опытом вопреки его собственным взглядам.

Во втором абзаце Мах сетует, что Земля нам досталась лишь только в одном варианте и что не известно, что было бы, если бы Земля не вращалась. Ответ на это как раз и дает опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой. Если бы Земля не вращалась, то и не было бы тех эффектов, которые мы наблюдаем у вращающейся Земли. Ведь в опыте Ньютона как раз и представлены два таких случая: вода не вращается относительно Земли; вода вращается относительно Земли. В данном случае Земля и другие небесные тела представляют собой инерциальную систему отсчета, относительно которой происходит вращательное движение воды (здесь мы не учитываем вращение Земли вокруг ее оси, так как для рассматриваемого ньютоновского опыта оно не существенно). Предыдущее предложение не следует понимать так, что все движения следует относить к системе неподвижных звезд, как того требует Мах. Просто неподвижные звезды – это одна из существующих инерциальных систем отсчета, непосредственно наблюдаемая глазами. Само же вращательное движение происходит относительно абсолютного пространства, не наблюдаемого нашими органами чувств, но проявляющего себя при ускоренных движениях тел. Сегодня мы знаем, что кроме Земли существуют и другие планеты с разным периодом вращения. Например, Венера вращается во много раз медленнее Земли, поэтому проявление эффектов, вызванных ее вращением, будет во много раз слабее аналогичных земных. И эти эффекты станут нулевыми для невращающейся планеты. Мах конечно же знал о существовании других планет, но поскольку они не были в его время доступными для опыта на их поверхности, то он и рассматривал Землю как единственную вращающуюся планету, доступную для наблюдений за проявлениями вращательного движения. Мах пишет:

“Основные принципы механики могут быть поэтому так составлены, чтобы и при относительных движениях получались центробежные силы”.

Но, что-то никто до настоящего времени этого не составил, если не считать выводы общей теории относительности о существовании центробежных сил, возникающих при относительных вращательных движениях, опытное подтверждение которых отсутствует. Опыт же Ньютона показывает, что при

относительном вращательном движении центробежные силы отсутствуют (вращение воды относительно стенок сосуда).

Мах: “Опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой показывает только то, что относительное вращение воды по отношению к *стенкам сосуда* не пробуждает заметных центробежных сил, ...”.

Относительное вращение воды относительно стенок сосуда вообще не пробуждает даже сколь угодно малых центробежных сил. Как это было показано выше, центробежные силы возникают только тогда, когда тело вращается относительно инерциальной системы отсчета. В опыте же Ньютона в первые моменты времени вращения сосуда вода находилась в покое относительно инерциальной системы отсчета (Земля) – относительное вращение воды относительно стенок сосуда. Вследствие чего центробежные силы в воде не возникали. И только по мере увеличивающегося со временем вращения воды относительно Земли возникают соответственно увеличивающиеся центробежные силы.

Мах: “Никто не может сказать, как протекал бы опыт, если бы стенки сосуда становились все толще и массивнее, пока, наконец, толщина их не достигла бы нескольких миль”.

Мы можем сказать, что опыт так же и протекал бы, исходя из предыдущего пояснения происхождения центробежных сил. Представление об относительности центробежной силы на основе общей теории относительности рассмотрено ниже.

Мах: “Налицо перед нами только один опыт и нам остается привести его в согласие со всеми остальными известными нам фактами, но не с произвольными созданиями нашей фантазии”.

О каких фактах идет речь, Мах не пишет. Если это факты, связанные с вращением Земли, о которых уже упоминалось выше, то они прекрасно согласуются с представлением об абсолютном пространстве, никаких фантазий здесь нет.

Мах [9, стр. 202]

“Можем ли мы удержать неподвижным сосуд с водой Ньютона, заставить вращаться небо неподвижных звезд и тогда *доказать* отсутствие центробежных сил?

Опыт этот неосуществим, сама мысль о нем вообще не имеет никакого смысла, ибо *оба* случая чувственно не могут быть отличены друг от друга. Я считаю поэтому *оба* случая за *один и тот же случай* и различие Ньютона за иллюзию”.

Мах склоняется к чувственному созерцанию Природы и то, что чувственно не различимо принимается им за идентичность. Эдак мы далеко уйдем в спекулятивном описании Природы. Ньютон же не придерживался чувственных восприятий, а пытался установить

истинную причину явлений, вытекающих непосредственно из опыта. Не в силах аргументировать свое отрицание абсолютного пространства и абсолютного движения, Мах выводит Ньютона объявляет иллюзией. Свой же идеализм выдает за объективную реальность. “Я считаю поэтому *оба* случая за *один и тот же* случай ...” констатирует Мах.

В этом же духе и Эйнштейн повествует о своем понимании относительности движения и природы происхождения центробежных сил [11, стр. 326]:

“В основе специальной теории относительности лежит предположение, что все системы координат, находящиеся по отношению друг к другу в прямолинейном равномерном движении, полностью равноценны для описания законов природы. В своем развитии эта теория использовала в качестве главной опоры тот факт, что при экспериментах в земных условиях мы совершенно не замечаем того, что Земля со значительной скоростью движется вокруг Солнца.

Однако доверие, которое мы оказываем теории относительности, имеет и другое основание, которое, правда, не так просто увидеть. Если K и K' – две системы координат, движущиеся по отношению друг к другу равномерно и прямолинейно, то с кинематической точки зрения они вполне равноценны. Поэтому мы напрасно стали бы искать веских оснований, почему одна из этих систем могла бы быть более подходящей для формулировки законов природы в качестве системы отсчета, чем другая; мы скорее чувствуем себя вынужденными постулировать равноценность этих систем”.

Нервноценность этих систем можно пояснить следующим образом. Рассмотрим две инерциальные системы K и K' , покоящиеся относительно друг друга. Пусть в каждой из этих систем в состоянии покоя находятся тела A и A' соответственно. В системе K включим силовое поле, действующее только на тело A . Под действием этого поля тело A ускорится до некоторой скорости. А системе K' сообщим некоторую постоянную скорость относительно системы K таким образом, чтобы на тело A' никакие силы не действовали, т.е., чтобы тело A' при этом оставалось в покое относительно системы K . В результате этого в обеих системах отсчета K и K' будут двигаться с некоторыми скоростями тела A и A' соответственно. Скорость тела A в системе K возникла за счет его ускорения в некотором силовом поле, в котором тело A поглощало элементы поля. Процесс поглощения элементов поля при ускорении тела в некотором силовом поле был нами описан в этом пункте выше. Скорость же

тела A' относительно системы K' возникла за счет изменения положения этой системы отсчета относительно системы K , при котором на тело A' никакие силы не действовали, так как оно оставалось в покое относительно системы K . Но поскольку на тело A' силы не действовали, то оно и не поглощало элементы поля из какого-либо поля. Поглощение элементов поля является физическим процессом и если он имеет место в системе K , а в системе K' не имеет места при сообщении телам A и A' некоторых скоростей, то этот процесс и приводит к неравноценности этих систем отсчета. Это то же самое, что говорил и Ньютон об истинном абсолютном движении, которое может быть произведено и изменено только под действием приложенной к телу силы. В то время как относительное движение может быть произведено и изменено без воздействия на тело силы. Воздействие силы на тело приводит к изменению внутреннего состояния тела, которое явным образом не проявляется. Это изменение внутреннего состояния тела, как мы об этом уже указывали выше, связано с наличием у тела кинетической энергии, которой соответствует определенное количество материи, поглощенной из ускоряемого поля в виде элементов поля, что непосредственно подтверждается опытами по ускорению элементарных частиц в ускорителях до высоких энергий, приводящих впоследствии при их столкновении к рождению новых частиц ненулевой массы покоя. Изменение же относительного движения при помощи изменения системы отсчета не приводит к изменению внутреннего состояния этого тела. Вот в этом и есть отличие абсолютного движения от относительного.

Конечно, из наблюдаемых скоростей тел A и A' мы не можем заключить какое из этих тел поглощало элементы поля при своем ускорении. Но, проведя соответствующие опыты с частицами (например, с электронами), мы можем установить абсолютное движение системы отсчета и определить ее абсолютную скорость относительно абсолютного пространства. Такой опыт описан нами ниже в пункте 4. Возможность определения абсолютной скорости движения системы отсчета как раз и показывает неравноценность инерциальных систем отсчета, движущихся с некоторой скоростью относительно друг друга.

Далее Эйнштейн продолжает [11, стр. 327]:

“Но этот аргумент сейчас же вызовет возражение. Кинематическая эквивалентность двух систем координат в действительности не ограничивается случаем, когда обе рассматриваемые системы K и K'

движутся относительно друг друга равномерно и прямолинейно. Эта эквивалентность с кинематической точки зрения также хорошо, например, выполняется, если одна система равномерно вращается относительно другой. Поэтому представляется необходимым обобщить существующую теорию относительности таким образом, чтобы устранить из нее кажущееся несправедливым предпочтение равномерных и прямолинейных движений перед относительными движениями других типов. ...

Правда, сначала кажется, что такое расширение теории относительности невозможно по физическим причинам, а именно: пусть K обозначает систему координат в смысле Галилея-Ньютона, K' – система координат, равномерно вращающаяся по отношению к системе K . Тогда на покоящиеся в системе K' массы действуют центробежные силы, в то время как на массы, покоящиеся в системе K , они не действуют. Уже Ньютон видел в этом доказательство того, что вращение системы K' следует понимать как «абсолютное», что систему K' нельзя с таким же правом, как и систему K , выбирать в качестве «покоящейся». Однако этот аргумент, как, в частности, показал Э. Мах, не обоснован. Существование центробежных сил в действительности не обязательно основывается на движении самой системы K' . С таким же успехом мы можем их приписать среднему вращательному движению весомых удаленных масс в окрестности системы по отношению к K' , причем систему K' мы считаем покоящейся. Если ньютоновские законы механики и гравитации не допускают такой интерпретации, то это можно считать скорее всего недостатками этих теорий”.

Здесь также остаются в силе, приведенные выше и ниже, наши замечания о неравноценности двух систем, находящихся в относительном вращении друг к другу. Относительные вращения систем отсчета принципиально отличаются от относительных движений инерциальных систем отсчета тем, что мы не можем установить абсолютное движение инерциальных систем, в силу чего относительные скорости легли в основу принципа относительности. Для вращающихся же систем отсчета мы знаем, что вращается та система, в которой на находящееся в ней тело действуют центробежные силы. Мах и Эйнштейн относили вращательное движение к звездам, мы же относим его к абсолютному пространству. В приведенной выше цитате Эйнштейн считает, что существование центробежных сил не обязательно должно быть основано на вращательном движении самой системы отсчета K' , в которой наблюдаются центробежные силы, а что их существование можно объяснить вращением системы удаленных масс относительно покоящейся системы K' . Позвоительно

спросить, относительно чего покоится (не вращается) система K' ? Ведь состояние покоя системы отсчета также требует указания относительно чего тело (система отсчета) покоится. Да и во всех рассуждениях Маха и Эйнштейна о неподвижной системе удаленных масс (звезд) не указывается относительно чего эта система удаленных масс считается неподвижной. Неподвижность сама по себе лишена физического смысла. Поэтому в случае с вращающейся относительно звезд системы отсчета K' мы можем рассматривать лишь только относительные вращения системы K' и системы звезд относительно друг друга. Это имело бы смысл так считать лишь только в том случае, если бы наблюдатель, оказавшийся в мировом пространстве в некоторой системе отсчета, увидел бы вращающееся звездное небо, то он мог бы принять за реальность, что звездное небо вращается вокруг него, если бы он не знал о существовании центробежных сил. Но если наблюдатель знает, что вращение тел приводит к возникновению центробежных сил, то поставив несложный опыт в своей системе отсчета он обнаружит проявление центробежных сил, из чего сделает вывод, что вращается его система отсчета, а не звездное небо. В реальности же вращения тел мы создаем сами и потому нелепо считать, что возникающие центробежные силы обязаны своему существованию относительному вращению системы удаленных масс. Ведь это относительное вращение возникает только тогда, когда вращается конкретное тело. Относительное вращение является чисто кинематическим эффектом, связанным с выбором системы отсчета, и потому не может себя проявлять в качестве причины возникновения центробежных сил. Реальное же вращение тела, которое мы производим сами, возникает в результате затраченной энергии, поэтому нам нет никакой необходимости считать, что возникающие при этом центробежные силы обязаны своему существованию относительному вращению системы удаленных масс. Любое относительное движение не имеет физического смысла, поскольку оно наблюдается и изменяется лишь только при изменении системы отсчета, вследствие чего является кинематическим эффектом, не оказывающим физического воздействия на тела.

Относительность центробежной силы была исследована Тиррингом [12, стр. 233]:

“... важнейшим из применений приближенного решения является исследование Тирринга *об относительности центробежной силы*. Поскольку в общей теории относительности явления могут описываться и в системе

отсчета, вращающейся относительно галилеевой, нужно, чтобы центробежную силу можно было также рассматривать как гравитационный эффект, вызванный относительным вращением неподвижных звезд”.

Эйнштейн и его последователи оказались заложниками общего принципа относительности. Искусственность представления центробежной силы в виде гравитационного эффекта, вызванного относительным вращением неподвижных звезд, очевидна. Об этом мы уже говорили выше, что относительные движения физически не влияют на тела и не создают каких-либо сил.

Рассмотрим теперь мысленный эксперимент, предложенный Эйнштейном [11, стр. 455]:

“Классической механике и в меньшей степени специальной теории относительности присущ некоторый теоретико-познавательный недостаток, который, пожалуй, впервые был ясно отмечен Э. Махом. Мы поясним его на следующем примере. Пусть два жидких тела одинаковой величины и состава свободно парят в пространстве на таком большом расстоянии друг от друга (и от всех прочих масс), что должны приниматься во внимание только те гравитационные силы, с которыми действуют друг на друга части *одного и того же тела*. Пусть расстояние между этими телами остается неизменным. Пусть также не происходит перемещения одной относительно другой частей одного и того же тела. Но пусть каждая масса, рассматриваемая наблюдателем, покоящимся относительно другой массы, вращается вокруг линии, соединяющей массы, с постоянной угловой скоростью (это относительное движение обеих масс всегда можно установить). Теперь представим себе, что поверхности обоих тел (S_1 и S_2) измерены с помощью масштабов (покоящихся относительно этих тел); пусть в результате измерения оказалось, что поверхность S_1 представляет собой сферу, а поверхность S_2 эллипсоид вращения.

Теперь возникает вопрос: по какой причине тела S_1 и S_2 ведут себя по-разному? Ответ на этот вопрос может быть только тогда признан удовлетворительным с теоретико-познавательной точки зрения, когда обстоятельство, указанное в качестве причины, является *наблюдаемым опытным фактом*; ибо принцип причинности только тогда имеет смысл суждения о явлениях в мире опыта, когда в качестве причин и следствий в конечном итоге оказываются лишь *наблюдаемые факты*.

Механика Ньютона не дает удовлетворительного ответа на этот вопрос. Она говорит следующее. Законы механики справедливы для пространства R_1 , относительно которого тело S_1 находится в покое, но несправедливы для пространства R_2 , относительно которого находится в покое тело S_2 . Однако галилеево пространство R_1 (и движение по

отношению к нему), которое при этом вводится, является *фиктивной* причиной, а не наблюдаемым фактом. Таким образом, ясно, что механика Ньютона в рассматриваемом случае удовлетворяет требованию причинности не по существу, но лишь кажущимся образом, возлагая ответственность за наблюдаемое различное поведение тел S_1 и S_2 на фиктивную причину – пространство R_1 .

Удовлетворительным ответом на поставленный выше вопрос может быть только следующий: физическая система, состоящая из тел S_1 и S_2 , сама по себе не дает возможности указать причину, с помощью которой можно было бы объяснить различное поведение тел S_1 и S_2 . Причина должна, следовательно, лежать *вне* этой системы. Отсюда, следует вывод, что общие законы движения, которые, в частности, определяют форму тел S_1 и S_2 должны быть таковы, чтобы механические свойства тел S_1 и S_2 в значительной степени обуславливались отдаленными массами, которые мы не включили в рассматриваемую систему. Эти отдаленные массы (и их относительные движения по отношению к рассматриваемым телам) должны тогда рассматриваться как носители принципиально наблюдаемых причин различного поведения рассматриваемых тел S_1 и S_2 ; они становятся на место фиктивной причины R_1 .”

Причиной различного поведения тел S_1 и S_2 являются центробежные силы, действующие на каждую элементарную часть тела S_2 и которые в данном случае фиктивными не являются. Из факта сплюснутости тела S_2 как раз и вытекает, что на это тело действуют центробежные силы. При относительном же вращении тела S_1 центробежные силы не возникают. Это и есть опытный факт, показывающий, что центробежные силы возникают при вращении тела относительно любой инерциальной системы отсчета, а следовательно и относительно абсолютной системы отсчета, и не возникают при относительном вращении, при котором тело не вращается относительно инерциальной системы отсчета. Таким образом причиной сплюснутости тела S_2 и ее отсутствие у тела S_1 является вращательное движение тела S_2 относительно инерциальной системы отсчета и отсутствие вращения у тела S_1 относительно инерциальной системы отсчета. Мы знаем, что такие инерциальные системы отсчета существуют в мире всегда, хотя можем их и не видеть. В этом и состоит абстрагирование от субъективного восприятия мира. Указывая, что причиной сплюснутости тела S_2 является его вращение

относительно некоторой инерциальной системы отсчета, мы основываемся на известном нам физическом опыте по наблюдению действия центробежных сил во вращающихся телах. Если бы такого опыта у нас не было, то тогда мы не могли бы утверждать, что различие в форме тел S_1 и S_2 обусловлено покоем тела S_1 и вращением тела S_2 относительно инерциальной системы отсчета. Это было бы лишь гипотезой, требующей экспериментальной проверки. Но к счастью, эта гипотеза многократно подтверждалась в опытах с вращающимися телами, и в силу этого обстоятельства мы вполне обосновано утверждаем, что причиной сплюснутости тела S_2 является его вращение относительно некоторой инерциальной системы отсчета, одной из которых является и абсолютная система отсчета.

Вращение тела является причиной возникающих в нем центробежных сил в том смысле, что если есть вращение, то есть и центробежные силы; если же вращения нет, то нет и центробежных сил. Вращение тела является наблюдаемым фактом и потому такое объяснение не может вызвать ни у кого возражения. Разумеется, что вращение тела мы рассматриваем относительно инерциальной системы отсчета. Вопрос же – почему возникают центробежные силы при вращении тела – является вопросом другого порядка и нам на него вовсе не обязательно надо отвечать при ответе на вопрос о причине возникновения центробежных сил применительно к рассматриваемым в данной работе вопросам. Как мы уже только что указали причиной возникновения центробежных сил в теле является его вращение относительно инерциальной системы отсчета.

Проницательный читатель может возразить нам, сказав, что вращение тела относительно инерциальной системы отсчета нельзя рассматривать как причину возникновения центробежных сил, так как это всего лишь только необходимое и достаточное условие их возникновения; сама же причина возникновения центробежных сил остается при этом неизвестной. Такое возражение скорее всего относится к области определения: что есть причина? Во многих физических явлениях указывается не самая глубинная причина (о которой мы и понятия не имеем), обуславливающая рассматриваемое явление, а лишь та, которая непосредственно наблюдается на опыте и от которой это явление зависит. Это как бы причина верхнего уровня, непосредственно соприкасаемая с рассматриваемым физическим явлением. Например, силу упругости связывают с деформацией тела, которую в механике рассматривают

в качестве причины возникновения силы упругости. Когда же стало известно атомистическое строение материи, то силы упругости нашли свое объяснение через электромагнитное взаимодействие атомов, объясняющее возникновение самой деформации тел. Это, однако, не мешает и сегодня рассматривать силу упругости как проявление деформации тела, понимая что за этим стоит. Следующий более глубинный уровень происхождения сил упругости очевидно связан с вопросом о природе электромагнитного взаимодействия (что является его причиной) и т.д. Возникает цепочка причин разного уровня. В приложениях же используют только причину верхнего уровня, непосредственно соприкасаемую с рассматриваемым физическим явлением. Точно в таком же аспекте следует рассматривать и причину возникновения центробежных сил. Вращение тела относительно инерциальной системы отсчета можно рассматривать в качестве причины возникновения центробежных сил, от которой непосредственно зависят наблюдаемые центробежные силы. Таким образом, вращение тела можно рассматривать как причину верхнего уровня, обуславливающую возникновение центробежных сил. Для рассматриваемых в данной работе вопросов этой причины вполне достаточно.

Эйнштейн же искал объяснение описанного выше опыта с позиции ньютоновской механики, указав в качестве причины различия в форме тел S_1 и S_2 пространство R_1 . Не само пространство R_1 является причиной этого различия в форме двух рассматриваемых тел, а лишь только вращательное движение тела S_2 и отсутствие такого вращения у тела S_1 относительно абсолютного пространства, что не одно и то же.

Возражение, приводимое Эйнштейном, относится к невозможности наблюдения абсолютного пространства, относительно которого рассматривается вращательное движение тела S_2 . Это вращательное движение поэтому необходимо рассматривать относительно системы отдаленных звезд, которые наблюдаемы. Такое понимание Эйнштейн не пишет открытым текстом. Он явно не указывает, что причиной сплюснутости тела S_2 является его вращение относительно системы отдаленных масс, внося тем самым неясность в вопрос о происхождении центробежных сил. Если же вопрос о причине сплюснутости тела S_2 относится лишь только к вопросу о выборе инерциальной

системы отсчета, относительно которой вращается тело S_2 , то это не является принципиальным. Как абсолютная система отсчета (абсолютное пространство), так и инерциальная система неподвижных звезд равноправны при рассмотрении вращения тела S_2 . Различие же состоит лишь только в ненаблюдаемости абсолютного пространства, точнее в ненаблюдаемости его проявлений, если не считать за таковые существование центробежных сил, а звезды мы видим. Является ли это обстоятельство доказательством отсутствия абсолютной системы отсчета? С точки зрения теории познания мы вынуждены ответить на этот вопрос отрицательно. То, что ненаблюдаемо сегодня, может оказаться наблюдаемым завтра. По этой причине мы не можем абсолютным образом отрицать существование абсолютного пространства.

В объяснении рассматриваемого мысленного эксперимента М. Борн оказался более откровенным и конкретным. Он таким же образом, что и Эйнштейн, возразил против объяснения различной формы S_1 и S_2 тел с позиции ньютоновской механики. По мнению Борна, если считать, что два реальных тела S_1 и S_2 находятся во Вселенной в полном одиночестве (других тел во Вселенной больше нет), то предположение, что и в этом случае форма тел S_1 и S_2 была бы различной, не может быть принято удовлетворительной механикой. Мы же считаем, что вообще бессмысленно делать какие-либо заключения о явлениях в нереализуемых на опыте ситуациях. Далее М. Борн пишет [13, стр. 374]:

“Когда же различие в поведении, подобное описанному выше, наблюдается в случае двух реальных тел S_1 и S_2 (мы знаем, что планеты бывают сплюснены в большей или меньшей мере), в качестве причины этого явления можно принять лишь *удаленные массы*. В реальном мире такие массы действительно существуют, именно бесчисленные легионы звезд. Какое бы небесное тело мы ни выбрали, оно всегда окружено неисчислимым множеством других, удаленных от него на колоссальные расстояния и движущихся относительно друг друга столь медленно, что в целом эффект их воздействия эквивалентен воздействию сплошной массы, имеющей внутреннюю полость, в которой и заключено рассматриваемое тело.

Идея о том, что причиной центробежных сил должна быть общая система удаленных масс, была впервые высказана философом и физиком Эрнстом Махом, работы которого оказали глубокое влияние на

Эйнштейна. Не существует опытов, противоречащих этой идее, поскольку используемая в астрономии система отсчета, относительно которой определяются вращения небесных тел, выбрана так, что она покоится относительно системы звезд в целом, или, более точно, так, что видимые движения неподвижных звезд относительно системы отсчета совершенно нерегулярны и не имеют предпочтительных направлений. Сплюсчивание планеты тем больше, чем больше скорость ее вращения относительно этой системы отсчета, связанной с удаленными массами”.

Борн, так же, как и Эйнштейн, о причине различия в форме тел S_1 и S_2 “... мы знаем, что планеты бывают сплюснены в большей или меньшей мере...” категорично и безосновательно (голословно) заявляет: “... в качестве причины этого явления можно принять лишь *удаленные массы*”. Здесь мы также должны лишь только догадываться, что же имеет в виду Борн под содержанием своих цитат. Из дальнейшего мы увидим это. Далее Борн пишет:

“Идея о том, что причиной центробежных сил должна быть общая система удаленных масс, была впервые высказана философом и физиком Эрнстом Махом,... Не существует опытов, противоречащих этой идее, поскольку используемая в астрономии система отсчета, относительно которой определяются вращения небесных тел, выбрана так, что она покоится относительно системы звезд в целом, или, более точно, так, что видимые движения неподвижных звезд относительно системы отсчета совершенно нерегулярны и не имеют предпочтительных направлений. Сплюсчивание планеты тем больше, чем больше скорость ее вращения относительно этой системы отсчета, связанной с удаленными массами”.

И еще заключение Борна [13, стр. 413]:

“Однако мы не должны забывать, что центробежные силы обусловлены не абсолютными вращениями, а вращениями относительно удаленных масс”.

Ну вот, все теперь стало ясно и понятно. Значит все-таки вращение является причиной центробежных сил.

Э. Мах относил все движения не к абсолютному пространству, а к системе удаленных масс, принимая любые движения за относительные [9, стр. 198]:

“Вместо того чтобы относить движущееся тело K к пространству (к какой-нибудь системе координат), мы будем теперь прямо рассматривать его отношение к *телам* мирового пространства, которыми эта система координат только и может быть *определена*”.

Вот его заключение об опыте Ньютона с вращающимся сосудом с водой [9, стр. 197]:

“Опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой показывает только то, что относительное вращение воды по отношению к *стенкам сосуда* не пробуждает заметных центробежных сил, но что эти последние

пробуждаются относительным вращением по отношению к массе Земли и остальным небесным телам”.

Из приведенных высказываний Э. Маха и М. Борна следует:

во-первых, что любые движения следует рассматривать относительно системы удаленных масс, коими которых выступают звезды;

во-вторых, что центробежные силы, от которых зависит сплющивание тел, определяются вращением этих тел относительно удаленных звезд.

Эти выводы согласуются с приведенным выше нашим анализом о причине происхождения центробежных сил. Вопрос заключался лишь в выборе системы отсчета, относительно которой следует рассматривать возникновение центробежных сил. Поскольку Мах, Эйнштейн и их сторонники придерживались взгляда, что физический смысл имеют только относительные движения, то для их описания следует выбрать систему отсчета, связанную с наблюдаемыми телами, в качестве которых ими были выбраны удаленные массы в виде системы малоподвижных звезд. Но, что такое система малоподвижных удаленных звезд? Это обычная инерциальная система отсчета, которую мы видим, вследствие чего не можем сомневаться в ее реальном существовании. Абсолютная система отсчета также является инерциальной системой, но вот беда – ее мы не видим. Природа посмеялась над маховскими и эйнштейновскими релятивистами, спрятав тайну абсолютного движения под покрывало относительных движений. Ньютону же относительные движения не помешали увидеть Природу обнаженной. Где-то мы читали изречение: *“Счастливец Ньютон – систему Мира можно открыть только один раз”*. К этим словам мы можем только присоединиться и еще раз поздравить И. Ньютона с его основными положениями о понятиях абсолютного пространства и абсолютного движения.

Возникновение центробежных сил, вызванных относительным вращательным движением, нашло свое отражение в общей теории относительности [12]:

“Представим себе в инерциальной системе теории Ньютона вращающийся полый шар, находящийся вдали от покоящихся или медленно прямолинейно и равномерно движущихся звезд. С релятивистской точки зрения ясно, что если масса полого шара сравнима с массой звездной системы, внутри шара появятся центробежная и кориолисова силы. Однако из соображений непрерывности следует, что и в том случае, когда масса шара мала, подобные силы, хотя, быть может, и очень слабые, будут налицо”, стр. 233.

“Вычисление показывает, что материальная точка, находящаяся внутри полого шара, испытывает ускорение, вполне аналогичное центробежному и кориолисовому ускорениям классической механики. Если $\boldsymbol{\omega}$ – вектор угловой скорости, \mathbf{r} – перпендикуляр от оси вращения к материальной точке и \mathbf{v} – ее скорость, то эти ускорения, конечно, не равны прямо выражению $2[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}] + \boldsymbol{\omega}^2\mathbf{r}$, получаемому, согласно классической механике, в системах отсчета, вращающихся с угловой скоростью относительно измерительной системы; выражения Тирринга равны этим двум членам, умноженным на фактор порядка отношения гравитационного радиуса полого шара $m = \kappa M / c^2$ к его радиусу a . Поскольку это отношение для всех имеющихся в нашем распоряжении масс крайне мало, всякая надежда проверить экспериментально этот принципиально важный результат тщетна. Понятно также, почему примитивный опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой, а также более точный опыт Б. и И. Фридендеров, пытавшихся обнаружить центробежную силу внутри вращающегося махового колеса, должны были привести к отрицательным результатам”, стр. 234.

Утверждение первого абзаца о возникновении центробежных сил внутри массивного полого вращающегося шара отвечает на вопрос Маха относительно опыта Ньютона с вращающимся сосудом с водой: “... как протекал бы опыт, если бы стенки сосуда становились все толще и массивнее, пока, наконец, толщина их не достигла бы нескольких миль”. Это утверждение, не подтвержденное на опыте, основано на вычислении, использующим положения общей теории относительности. Мы считаем его неверным. Ошибочность такого заключения общей теории относительности вытекает из природы происхождения центробежных сил, описанной выше.

Во втором абзаце приводятся результаты вычисления, показывающего малость возникающих центробежных сил внутри массивного вращающегося полого шара. Вследствие чего опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой и более точный опыт Фридендеров с вращающимся маховиком не могли обнаружить центробежную силу, теоретически существующую в общей теории относительности. Здесь однако следует заметить, что Ньютон не пытался обнаружить центробежную силу при относительном вращении воды относительно стенок вращающегося сосуда. Он лишь констатировал, исходя из наблюдений, что относительное вращение воды относительно стенок сосуда не приводит к центробежным силам, в то время как вращение воды относительно Земли приводит к ним. Столь резкое отличие вращательных

движений воды в этих двух случаях и было положено Ньютоном в обоснование истинности и абсолютности вращательного движения.

Приведем теперь наши определения ньютоновских понятий, основанные на использовании понятия системы отсчета.

1. Систему пространственных координат, начало которой неподвижно относительно некоторого тела, совместно с осью времени будем называть системой отсчета.

2. В Природе существует абсолютная система отсчета, относительно которой следует рассматривать все физические явления и процессы. Это аналог абсолютного пространства Ньютона.

3. Система отсчета, движущаяся относительно абсолютной системы отсчета равномерно и прямолинейно, является инерциальной системой отсчета.

4. Если скорость тела относительно абсолютной системы отсчета равна нулю, то тело находится в абсолютном покое.

5. Если скорость тела относительно инерциальной системы отсчета равна нулю, то тело находится в относительном покое.

6. Абсолютная скорость – это скорость тела, движущегося относительно абсолютной системы отсчета.

7. Относительная скорость – эта скорость движения тела относительно инерциальной системы отсчета.

8. Пространственно-временные масштабы во всех инерциальных системах отсчета и абсолютной системе отсчета одинаковы.

9. Если инерциальная система отсчета движется с абсолютной скоростью \bar{u} , а тело относительно этой инерциальной системы отсчета движется с относительной скоростью \bar{v} , то абсолютная скорость этого тела равна $\bar{V} = \bar{u} + \bar{v}$. Причем всегда выполняется $|\bar{V}| < c$, где $|\bar{u}| < c$, c – скорость света в вакууме относительно абсолютной системы отсчета.

В п. 9 скорость движения тела относительно абсолютной системы отсчета определяется так же, как и в классической физике (формула сложения скоростей), с той лишь разницей, что относительная скорость тела не может быть теперь произвольной ввиду невозможности движения тела относительно абсолютной системы отсчета со скоростью равной или превышающей скорость света.

Скорость движения тела (частицы с ненулевой массой покоя) относительно абсолютной системы отсчета не может быть больше или равной скорости света в вакууме относительно абсолютной системы отсчета.

Невозможность движения тела (частицы с ненулевой массой покоя) относительно абсолютной системы отсчета со скоростью, превышающей скорость света, была теоретически установлена и экспериментально подтверждена в опытах с электронами в начале 20-го века и последующими экспериментами по ускорению заряженных частиц до высоких и сверхвысоких энергий. Следуя за Ньютоном, мы полагаем, что истинное движение тела (частицы), происходящее относительно абсолютного пространства, является абсолютным движением. С этим абсолютным движением связано понятие кинетической энергии тела, которое было уже рассмотрено выше в этом пункте и будет еще рассмотрено позднее. Именно относительно абсолютного пространства скорость тела ограничена скоростью света. Поэтому все физические явления и процессы надо описывать именно относительно абсолютного пространства, в котором вводим абсолютную систему отсчета. Относительная же скорость тела определяется из выражения, записанного в п. 9.

Рассмотрим случай, когда скорости \vec{u} и \vec{v} направлены:

1) в одну сторону, $\vec{u} \uparrow \uparrow \vec{v}$ ($|\vec{u}| = u$, $|\vec{v}| = v$), откуда находим

$$|\vec{V}| = u + v < c \Rightarrow 0 < v < c - u ; \quad (1)$$

2) в противоположные стороны, $\vec{u} \uparrow \downarrow \vec{v}$ (если $v > u$), откуда

$$|\vec{V}| = v - u < c \Rightarrow u < v < c + u < 2c . \quad (2)$$

Результаты (1) и (2) существенным образом отличаются от выводов классической и релятивистской физики. В классической физике используется принцип относительности Галилея, согласно которому относительная скорость не имеет ограничения. В релятивистской физике (специальная теория относительности) относительная скорость ограничена скоростью света. Неравенства же (1) и (2) показывают, что максимальная относительная скорость тела может быть как достаточно малой ($v \ll c$) (1), так и достаточно близкой к значению $2c$ (2).

Неравенства (1) и (2) противоречат как классическому, так и специальному принципу относительности. Следствия, вытекающие из этих неравенств, могут быть экспериментально проверены на космическом корабле, движущимся со скоростью, близкой к световой. Неравенство (1) приводит к тому, что максимальная скорость тела относительно движущейся с околосветовой скоростью ракеты будет малой, $v_{\max} < c - u$. И если скорость движения ракеты u будет достаточно близка к скорости света c , то

тогда относительно такой ракеты тело фактически не сможет перемещаться вперед по направлению ее движения. Это обстоятельство затруднит жизнедеятельность экипажа и работу оборудования на космическом корабле, движущимся со скоростью, достаточно близкой к скорости света. Ясно также, что в такой ракете законы классической механики выполняться не будут. Как было замечено выше, движение тела происходит относительно абсолютного пространства и именно относительно него скорость тела ограничена скоростью света. Поэтому, если система отсчета движется с околосветовой скоростью, как в приведенном выше примере с ракетой, то мы обнаружим сильную анизотропию максимальной скорости движения тела относительно этой системы отсчета. Если мы будем рассматривать движение тела в этой системе отсчета по направлению ее движения, то приращение скорости тела будет определяться кинетической энергией этого тела, движущегося с околосветовой скоростью относительно абсолютного пространства (абсолютной системы отсчета). И поскольку эта кинетическая энергия будет достаточно большой для движущегося с околосветовой скоростью тела, то и приращение скорости от дополнительно сообщенной телу энергии будет малым.

Если же тело относительно этой системы отсчета будет двигаться противоположно направлению ее движения, то скорость тела относительно этой системы отсчета может меняться от нуля до максимального значения $v_{\max} < c + u < 2c$.

Сильная анизотропия максимальной скорости движения тела относительно движущейся с околосветовой скоростью системы отсчета является самым замечательным следствием теории абсолютного движения.

3. Принцип относительности

Принцип относительности, описанный в этом пункте, мы будем относить к случаю малых скоростей движения системы отсчета и тел, когда зависимость массы тела от скорости его движения можно пренебречь. При учете такой зависимости принцип относительности выполняться не будет.

Принцип относительности, открытый Галилеем и подтверждаемый на опыте, приводит к преобразованиям Галилея

$$\bar{r} = \bar{r}' + \bar{V}t \quad , \quad t = t' \quad , \quad (3)$$

где \bar{V} – скорость движения инерциальной системы отсчета K' относительно инерциальной системы отсчета K ; t', t – время в обеих системах отсчета соответственно; \bar{r}', \bar{r} – радиус-векторы рассматриваемой материальной точки в этих системах отсчета. Продифференцировав выражение (3) по времени t , получим классический закон сложения скоростей

$$\bar{v} = \bar{v}' + \bar{V} \quad . \quad (4)$$

Законы механики инвариантны относительно галилеевых преобразований (3), вследствие чего они имеют один и тот же вид в разных инерциальных системах отсчета, что является выражением классического принципа относительности. Согласно этому принципу относительности не представляется возможным какими-либо механическими опытами, осуществляемыми в некоторой движущейся инерциальной системе отсчета, установить ее движение относительно какой-либо другой инерциальной системы отсчета. Наглядным подтверждением этого служит тот факт, что движение Земли вокруг Солнца со скоростью 30 км/с не оказывает влияние на механические явления, наблюдаемые на Земле, по крайней мере такое влияние до настоящего времени экспериментально не установлено. Ньютоновская механика исходила из предположения о существовании абсолютного пространства, относительно которого происходят все движения. Принцип относительности был установлен Галилеем на основе наблюдаемой на опыте неразличимости протекания механических явлений в разных инерциальных системах отсчета. Заметим по этому поводу, что наблюдения Галилея и приводимые им примеры с бабочками на движущемся корабле имеют качественный характер. Специальных механических опытов, подтверждающих принцип относительности, насколько нам известно, никто не проводил. Все заключения о его выполнимости были основаны на качественных наблюдениях,

которые с некоторой точностью подтверждали закон сложения скоростей (4). И поскольку даже орбитальное движение Земли вокруг Солнца со скоростью 30 км/с не приводило к наблюдаемым аномалиям в механических процессах, происходящих на Земле, то это обстоятельство принимали в качестве доказательства выполнимости принципа относительности. Как и любой другой принцип, принцип относительности был принят в физике как обобщение опытных фактов, которые ему не противоречили. Полагая, что пространственно-временные масштабы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета, непосредственно, чисто геометрически, приходим к галилеевым преобразованиям (3), следствием которых является закон сложения скоростей (4). Покажем, что закон сложения скоростей (4) и галилеевы преобразования (3) также вытекают и из второго закона Ньютона

$$\frac{d(m\bar{v})}{dt} = \bar{F} . \quad (5)$$

Пусть инерциальная система отсчета K' связана с телом массы M , движущимся с постоянной скоростью \bar{V} относительно инерциальной системы отсчета K . Полагаем также, что в начальный момент времени начала координат этих систем отсчета совпадают. Рассмотрим покоящееся в начале координат системы K' тело, масса которого равна $m \ll M$ и на которое действует произвольно направленная постоянная сила \bar{F}' некоторого силового поля, покоящегося относительно системы K' . Влияние силы $(-\bar{F}')$, действующей на тело $M \gg m$ в соответствии с 3-м законом Ньютона, учитывать не будем ввиду малого изменения скорости \bar{V} тела M под действием этой силы. Это позволит проще выяснить причину выполнимости принципа относительности в случае малых скоростей движущихся тел m и M . В дальнейшем влияние силы $(-\bar{F}')$ на тело M будет учтено. Рассмотрим движение тела m относительно системы отсчета K , в которой $\bar{F} = \bar{F}' = \overline{const}$, используя закон движения (5).

Интегрируя дважды уравнение (5) и учитывая начальные значения при $t = 0$: $\bar{v}_0 = \bar{V}$, $\bar{r}_0 = \bar{r}'_0 = 0$, получим

$$\bar{v} = \bar{v}' + \bar{V} , \quad \bar{r} = \bar{r}' + \bar{V}t , \quad (6)$$

где $\bar{v}' = \frac{\bar{F}}{m}t = \bar{a}'t$, $\bar{r}' = \frac{\bar{a}'t^2}{2}$, так как $\bar{F} = \bar{F}'$ и $t = t'$.

Выражения (6) совпадают с соответствующими выражениями (3) и (4). Используя закон сложения скоростей (4), кинетическую энергию тела m относительно системы K запишем в виде

$$E = \frac{m}{2}(\bar{V} + \bar{v}')^2 = E' + m\bar{v}'\bar{V} + \frac{m}{2}\bar{V}^2, \quad (7)$$

где $E' = \frac{m}{2}\bar{v}'^2$ – кинетическая энергия тела m в системе K' .

Проанализируем каждое слагаемое в выражении (7) и выясним его физический смысл. Величины E и E' – это кинетические энергии тела m , движущегося со скоростями \bar{v} и \bar{v}' , соответственно в системах отсчета K и K' . Слагаемое $\frac{m}{2}\bar{V}^2$ – это кинетическая энергия тела m в момент времени $t = 0$ в системе отсчета K . Рассмотрим теперь слагаемое $m\bar{v}'\bar{V}$ и выясним его физический смысл. Первоначально тело m двигалось со скоростью \bar{V} относительно системы отсчета K и имело кинетическую энергию $\frac{m}{2}\bar{V}^2$, затем под действием силы \bar{F}' в системе отсчета K' оно приобретает кинетическую энергию E' . Тогда по закону сохранения энергии должно было бы быть $E = E' + \frac{m}{2}\bar{V}^2$, но в выражении (7) содержится дополнительное слагаемое $m\bar{v}'\bar{V}$. Если тело m в системе K' приобретает энергию E' под действием некоторого источника энергии (двигателя, например) и больше, чем E' , этот источник энергии не расходует, то откуда в (7) появляется слагаемое $m\bar{v}'\bar{V}$?

Изменение кинетической энергии тела m относительно системы отсчета K равно

$$\Delta E = \frac{m}{2}(\bar{V} + \bar{v}')^2 - \frac{m}{2}\bar{V}^2 = m\bar{v}'\bar{V} + \frac{m}{2}\bar{v}'^2. \quad (8)$$

С другой стороны это изменение можно записать и так

$$\Delta E = \bar{F}\bar{r} = m\bar{a}(\bar{r}' + \bar{V}t) = m\bar{v}'\bar{V} + \frac{m}{2}\bar{v}'^2, \quad (9)$$

так как $\bar{r}' = \bar{a}t^2 / 2$, $\bar{a}t = \bar{v}'$. Откуда следует, что слагаемое $m\bar{v}'\bar{V} = \bar{F} \cdot \bar{V}t = \bar{F} \cdot \bar{s}$, где \bar{s} – перемещение начала координат системы отсчета K' относительно системы отсчета K за время t . Но такое же перемещение \bar{s} относительно системы K за то же самое время совершает и покоящееся в системе K' силовое поле, следовательно, оно не может быть ответственным за появление в выражении (7) слагаемого $m\bar{v}'\bar{V}$. Тело m приобретет кинетическую энергию в силовом поле, если оно переместится относительно этого поля на некоторое расстояние вдоль линии действия силы. В данном случае перемещение тела m относительно поля равно $\bar{r}' = \bar{a}t^2 / 2$, $\bar{a}t = \bar{v}'$, в результате чего оно приобрело кинетическую энергию $E' = m\bar{v}'^2 / 2$ под действием силы \bar{F}' . Остается только считать, что появление в (7) слагаемого $m\bar{v}'\bar{V}$ обусловлено телом m или M . Рассмотрим два случая.

Случай 1, $m\bar{v}'\bar{V} > 0$. Из выражения (8) следует, что тело m приобретает дополнительную кинетическую энергию $m\bar{v}'\bar{V}$. Исходя из проведенного выше анализа появления в выражении (7) слагаемого $m\bar{v}'\bar{V}$, следует заключить, что тело M передает телу m кинетическую энергию $m\bar{v}'\bar{V}$ за счет своей кинетической энергии $M\bar{V}^2 / 2$. Тело M – это масса устройства, создающего силовое поле, совместно с массой тела, на котором это устройство жестко закреплено, т.е. в общем – это масса системы отсчета K' .

Случай 2, $m\bar{v}'\bar{V} < 0$. В этом случае, как это следует из выражения (8), тело m отдает кинетическую энергию $(-m\bar{v}'\bar{V})$ телу M за счет своей кинетической энергии $m(\bar{V} + \bar{v}')^2 / 2$.

Ниже будет строго показано, что слагаемое $m\bar{v}'\bar{V}$ в выражении (7) обусловлено передачей кинетической энергии от одного тела к другому.

Наличие в выражении (7) слагаемого $m\bar{v}'\bar{V}$ обеспечивает выполнение закона сложения скоростей (4), а следовательно, и выполнение классического принципа относительности. Если энергия $m\bar{v}'\bar{V} > 0$, то тело m , движущееся со скоростью \bar{v}' относительно системы отсчета K' , масса которой равна M , получает эту энергию от массы M , в противном случае отдает ее

массе M . Именно, за счет кинетической энергии $|m\vec{v}'\vec{V}|$, получаемой или отдаваемой телом m , движущимся относительно системы отсчета K' со скоростью \vec{v}' , и выполняется классический принцип относительности.

Это является динамической причиной выполнения классического принципа относительности для движущихся относительно системы отсчета K' тел, связанных с ней какими-либо взаимодействиями.

Тела, движущиеся по твердой поверхности, взаимодействуют с ней посредством сил трения и упругости. Тела, движущиеся в воздушной и в водной среде, взаимодействуют с ней посредством сил трения и давления. При движении тела в воздушной и в водной среде в качестве массы M будет выступать масса той части воздуха и воды, которая изменяет свою кинетическую энергию при взаимодействии с рабочими поверхностями соответствующего движителя. В случае реактивного движения относительно поверхности Земли в качестве массы M будет выступать масса отработанного топлива, движущегося относительно системы отсчета K с той же самой скоростью \vec{V} , что и Земля. При работе реактивного двигателя энергия $m\vec{v}'\vec{V} > 0$ передается реактивному объекту за счет кинетической энергии отработанного топлива. Если же $m\vec{v}'\vec{V} < 0$, то реактивный объект отдает энергию $(-m\vec{v}'\vec{V})$ отработанному топливу за счет своей кинетической энергии. В данном случае масса m является переменной величиной, равной сумме масс реактивного объекта и неизрасходованного топлива.

Для тел, движущихся относительно некоторой системы отсчета K и не связанных с системой отсчета K' какими-либо взаимодействиями, описание их движения относительно системы K' осуществляется при помощи галилеевых преобразований (3) и является чисто геометрическим, что не выражает собой физическую сущность принципа относительности. Физическая же сущность принципа относительности проявляется только в тех инерциальных системах отсчета K' , относительно которых скорость тела m изменяется под действием приложенных к нему сил, источник которых связан с массой M системы K' посредством какого-либо взаимодействия. Это и выражает для этих систем отсчета K' содержание классического принципа относительности:

во всех инерциальных системах отсчета, указанного выше типа, механические явления протекают одинаковым образом.

Таким образом, физическая сущность принципа относительности не противоречит существованию абсолютной системы отсчета, связанной с абсолютным пространством. Это вытекает из указанной выше динамической причины выполнимости принципа относительности, объясняющей природу его происхождения. Поэтому относительные скорости разных инерциальных систем отсчета не имеют того физического смысла, который им был приписан маховскими и эйнштейновскими релятивистами. Эти релятивисты исходили из того, что наблюдаемыми являются лишь только относительные скорости движения тел, поэтому только эти относительные скорости и могут иметь физический смысл. Маховские и эйнштейновские релятивисты не знали причины выполнимости принципа относительности; они считали его справедливым, исходя из его непротиворечивости опытным фактам. Мы же установили динамическую причину выполнимости принципа относительности, указанную выше, которая лишает относительные скорости разных инерциальных систем отсчета их основополагающей роли в этом принципе. Исходя из этих замечаний, скорость \bar{V} любой инерциальной системы отсчета K' можно рассматривать как скорость относительно абсолютного пространства, с которым связана абсолютная система отсчета. Остается теперь только определить эту скорость движения системы отсчета (например, Земли) относительно абсолютной системы отсчета. Определение абсолютной скорости движения Земли позволит осуществить опыт, описанный нами ниже в пункте 4. Рассмотрим теперь несколько примеров для двух взаимодействующих тел.

Пример 1. Два тела с массами m_1 и m_2 движутся относительно системы отсчета K со скоростями $\bar{v}_1 = \bar{V} + \bar{v}'_1$ и $\bar{v}_2 = \bar{V} + \bar{v}'_2$ соответственно, где \bar{v}'_1 и \bar{v}'_2 – скорости этих тел относительно системы отсчета K' , движущейся относительно системы K со скоростью \bar{V} . Будем считать, что скорости \bar{v}'_1 и \bar{v}'_2 направлены вдоль одной прямой, проходящей через центры масс сталкивающихся тел, которые взаимодействуют только между собой. Для процесса упругого столкновения этих тел запишем законы сохранения энергии и импульса относительно системы отсчета K

$$\begin{cases} m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = m_1 \bar{u}_1 + m_2 \bar{u}_2 \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \end{cases}, \quad (10)$$

где \bar{u}_1 и \bar{u}_2 – скорости тел относительно системы K после столкновения. Систему уравнений (10) запишем в следующем виде

$$\begin{cases} m_1(\bar{v}_1 - \bar{u}_1) = m_2(\bar{u}_2 - \bar{v}_2) \\ m_1(v_1^2 - u_1^2) = m_2(u_2^2 - v_2^2) \end{cases}. \quad (11)$$

Поделив в этой системе 2-е уравнение на 1-е, получим

$$\begin{cases} \bar{v}_1 + \bar{u}_1 = \bar{u}_2 + \bar{v}_2 \\ m_1(\bar{v}_1 - \bar{u}_1) = m_2(\bar{u}_2 - \bar{v}_2) \end{cases}. \quad (12)$$

Решением системы уравнений (12) является

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = \frac{(m_1 - m_2)\bar{v}_1 + 2m_2\bar{v}_2}{m_1 + m_2} \\ \bar{u}_2 = \frac{(m_2 - m_1)\bar{v}_2 + 2m_1\bar{v}_1}{m_1 + m_2} \end{cases}. \quad (13)$$

Из (13) находим скорость 1-го тела относительно 2-го тела

$$\bar{u}_{12} = \bar{u}_1 - \bar{u}_2 = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = \bar{v}_{21}. \quad (14)$$

Подставив в (14) значения $\bar{v}_1 = \bar{V} + \bar{v}'_1$ и $\bar{v}_2 = \bar{V} + \bar{v}'_2$, получим

$$\bar{u}_{12} = \bar{V} + \bar{v}'_2 - \bar{V} - \bar{v}'_1 = \bar{v}'_2 - \bar{v}'_1 = \bar{v}'_{21}. \quad (15)$$

Из выражения (14) следует, что относительная скорость \bar{u}_{12} двух тел после столкновения не зависит от скорости \bar{V} их совместного движения относительно системы K . Из выражений (14) и (15) следует, что $\bar{v}_{21} = \bar{v}'_{21}$ – относительные скорости тел до столкновения в обеих системах K и K' одинаковы. Точно также и относительные скорости тел после столкновения в обеих системах отсчета будут одинаковы, т.е. $\bar{u}_{12} = \bar{u}'_{12}$, что непосредственно вытекает из выражений $\bar{u}_1 = \bar{V} + \bar{u}'_1$ и $\bar{u}_2 = \bar{V} + \bar{u}'_2$, где \bar{u}'_1 и \bar{u}'_2 – скорости тел относительно системы K' после их столкновения. Отсюда следует, что относительная скорость одного тела относительно другого тела является инвариантом во всех инерциальных системах отсчета. Поэтому достаточно рассмотреть

взаимодействие двух тел между собой относительно системы отсчета K и если относительная скорость одного тела относительно другого тела не зависит от их общей скорости \bar{V} , то и относительная скорость этих тел относительно друг друга в системе K' будет той же самой, что и в системе K . В этом случае принцип относительности будет считаться справедливым.

Пример 2. Пусть центры масс двух тел m_1 и m_2 расположены на прямой l_{12} в системе отсчета K' , которая движется относительно системы отсчета K со скоростью \bar{V} , составляющей с прямой l_{12} угол a . Между телами m_1 и m_2 расположен источник энергии W , которая передается этим телам после ее высвобождения (выстрел, взрыв). Будем считать, что возникающие при высвобождении энергии W результирующие силы, действующие на тела m_1 и m_2 , направлены вдоль прямой l_{12} . После высвобождения энергии W тела m_1 и m_2 будут двигаться относительно системы отсчета K' со скоростями \bar{v}_1 и \bar{v}_2 соответственно вдоль прямой l_{12} в противоположных направлениях. Также будем считать, что тела m_1 , m_2 и высвободившаяся энергия W с системой K' не взаимодействуют, поэтому скорость \bar{V} движения системы отсчета K' относительно системы отсчета K не изменится при высвобождении энергии W . Пусть скорости тел m_1 и m_2 относительно системы отсчета K после высвобождения энергии W соответственно равны

$$\bar{u}_1 = \bar{V} + \bar{v}_1, \quad \bar{u}_2 = \bar{V} + \bar{v}_2. \quad (16)$$

Для процесса высвобождения энергии W , передающейся телам m_1 и m_2 , запишем законы сохранения энергии и импульса относительно системы отсчета K

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)\bar{V} = m_1\bar{u}_1 + m_2\bar{u}_2 \\ \frac{(m_1 + m_2)\bar{V}^2}{2} + W = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \end{cases}$$

Подставив в эту систему уравнений выражения (16) и упростив ее, получим

$$\begin{cases} m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = 0 \\ 2W = m_1(2\bar{V}\bar{v}_1 + v_1^2) + m_2(2\bar{V}\bar{v}_2 + v_2^2) \end{cases} \quad (17)$$

Решением системы уравнений (17) является

$$v_1 = \sqrt{\frac{2W}{m_1(1+\lambda)}}, \quad v_2 = \lambda \sqrt{\frac{2W}{m_1(1+\lambda)}}, \quad (18)$$

где v_1, v_2 – модули векторов \bar{v}_1 и \bar{v}_2 соответственно, $\lambda = m_1 / m_2$. Из 1-го уравнения системы (17) следует, что $\bar{v}_2 = -\lambda \bar{v}_1$.

Решение (18) не зависит ни от угла a (угол между прямой l_{12} и скоростью \bar{V}) ни от скорости \bar{V} . С учетом выражений (16) относительные скорости 1-го тела относительно 2-го тела в обеих системах отсчета K и K' будут одинаковыми $\bar{u}_{12} = \bar{u}_1 - \bar{u}_2 = \bar{v}_1 - \bar{v}_2 = \bar{v}_{12} = \bar{v}$.

Модуль $v = |\bar{v}| = \sqrt{v_1^2 - 2\bar{v}_1\bar{v}_2 + v_2^2} = v_1 + v_2$, так как $\bar{v}_1\bar{v}_2 < 0$ (скорости \bar{v}_1 и \bar{v}_2 направлены противоположно друг другу).

Подставив сюда выражения (18) и учитывая $\lambda = m_1 / m_2$, получим

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m_{\text{пр}}}}, \quad (19)$$

где $m_{\text{пр}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ – приведенная масса.

Так как относительная скорость v двух тел m_1 и m_2 в системе отсчета K' не зависит от направления их скоростей \bar{v}_1 и \bar{v}_2 и от скорости \bar{V} движения системы K' относительно системы отсчета K , то этим подтверждается выполнение принципа относительности.

Подставив решение (18) в выражения (16), найдем скорости тел m_1 и m_2 относительно системы отсчета K

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = \bar{V} + \bar{v}_1 = \bar{V} + \sqrt{\frac{2W}{m_1(1+\lambda)}} \\ \bar{u}_2 = \bar{V} + \bar{v}_2 = \bar{V} + \lambda \sqrt{\frac{2W}{m_1(1+\lambda)}} \end{cases} \quad (20)$$

Подсчитаем изменения кинетических энергий этих тел относительно системы отсчета K , учитывая выражения (20).

$$\begin{aligned} \Delta E_1 &= \frac{m_1 u_1^2}{2} - \frac{m_1 V^2}{2} = \\ &= m_1 \bar{V} \bar{v}_1 + \frac{m_1 v_1^2}{2} = m_1 \bar{V} \bar{v}_1 + \frac{W}{1+\lambda} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_2 &= \frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{m_2 V^2}{2} = \\ &= -m_1 \bar{V} \bar{v}_1 + \lambda \frac{m_1 v_1^2}{2} = -m_1 \bar{V} \bar{v}_1 + \lambda \frac{W}{1+\lambda} \end{aligned} \quad (22)$$

При вычислении ΔE_2 учли, что $\bar{v}_2 = -\lambda \bar{v}_1$ и $\lambda = m_1 / m_2$.

Если в выражениях (21) и (22) $\bar{V} \bar{v}_1 > 0$, то кинетическая энергия 1-го тела увеличивается на величину $m_1 \bar{V} \bar{v}_1$, а кинетическая энергия 2-го тела уменьшается на такую же величину.

Если же $\bar{V} \bar{v}_1 < 0$, то 1-е тело отдает энергию $(-m_1 \bar{V} \bar{v}_1)$, а 2-е тело такую же энергию принимает.

В обоих случаях затраты энергии источником составляют

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = \frac{W}{1+\lambda} + \lambda \frac{W}{1+\lambda} = W \quad (23)$$

Выражение (23) показывает какую долю своей энергии затрачивает источник на сообщение телам m_1 и m_2 кинетической энергии относительно движущейся системы отсчета K' . И поскольку выражение (23) не зависит от скорости \bar{V} движения системы K' относительно неподвижной системы K , то оно будет иметь такой же вид и в системе K .

Пример 3. В двух предыдущих примерах тела m_1 и m_2 взаимодействовали только между собой, вследствие чего скорость \bar{V} движения системы K' относительно системы K не изменялась после взаимодействия этих тел. Свяжем теперь жестко систему отсчета K' с телом m_2 , тогда система отсчета K' и тело m_2 всегда будут двигаться с одинаковой скоростью относительно системы отсчета K . Так же, как и в предыдущем примере, рассмотрим два покоящихся в системе K' тела, массы которых равны m_1 и m_2 и которые движутся относительно системы K со скоростью \bar{V} . Пусть центры масс этих тел расположены на прямой l_{12} , составляющей со скоростью \bar{V} угол a , и между ними расположен источник энергии W . После высвобождения энергии W тело m_1 движется относительно K со скоростью \bar{u}_1 , а тело m_2 , на котором жестко закреплена система отсчета K' , движется со скоростью \bar{u}_2 . Будем считать, что при высвобождении энергии W результирующие силы, действующие на тела m_1 и m_2 , проходят через их центры масс. Для процесса высвобождения энергии W запишем законы сохранения энергии и импульса относительно системы отсчета K

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)\bar{V} = m_1\bar{u}_1 + m_2\bar{u}_2 \\ \frac{(m_1 + m_2)V^2}{2} + W = \frac{m_1u_1^2}{2} + \frac{m_2u_2^2}{2} \end{cases} \quad (24)$$

Из 1-го уравнения этой системы находим

$$\bar{u}_2 = (1 + \lambda)\bar{V} - \lambda\bar{u}_1 \quad (25)$$

Подставив это выражение для \bar{u}_2 во 2-е уравнение, получим

$$u_1^2 - 2\bar{V}\bar{u}_1 + V^2 = \frac{2W}{m_1(1 + \lambda)}, \quad (26)$$

где $\lambda = m_1 / m_2$. Учитывая выражение (25) и $\bar{u}_1 = \bar{u}_2 + \bar{v}$, скорость 1-го тела запишем в виде

$$\bar{u}_1 = \bar{V} + \frac{\bar{v}}{1 + \lambda}, \quad (27)$$

где \bar{v} – относительная скорость 1-го тела относительно 2-го.

Учитывая \bar{u}_1 из (27) и $\bar{u}_1 = \bar{u}_2 + \bar{v}$, для скорости 2-го тела получим

$$\bar{u}_2 = \bar{V} - \frac{\lambda \bar{v}}{1 + \lambda}. \quad (28)$$

Подставив \bar{u}_1 из (27) в уравнение (26), получим величину относительной скорости тела m_1 относительно тела m_2

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m_{\text{пр}}}}, \quad (29)$$

где $m_{\text{пр}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ – приведенная масса. Так как относительная

скорость двух тел m_1 и m_2 из (29) не зависит от угла a (угол между прямой l_{12} и скоростью \bar{V}) и от скорости \bar{V} , то этим подтверждается выполнение принципа относительности в рассмотренном примере. Учитывая выражения (27), (28) и $\lambda = m_1 / m_2$, вычислим изменения кинетических энергий тел m_1 и m_2 относительно системы отсчета K .

$$\Delta E_1 = \frac{m_1 u_1^2}{2} - \frac{m_1 V^2}{2} = \frac{m_1 \bar{V} \bar{v}}{1 + \lambda} + \frac{W}{1 + \lambda}. \quad (30)$$

$$\Delta E_2 = \frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{m_2 V^2}{2} = -\frac{m_1 \bar{V} \bar{v}}{1 + \lambda} + \frac{\lambda W}{1 + \lambda}. \quad (31)$$

Из выражений (30) и (31) следует, что при $\bar{V} \bar{v} > 0$, тело m_1 получает энергию $m_1 \bar{V} \bar{v} / (1 + \lambda)$, а тело m_2 такую же энергию отдает. При $\bar{V} \bar{v} < 0$, наоборот, тело m_1 отдает, а тело m_2 получает энергию $(-m_1 \bar{V} \bar{v} / (1 + \lambda))$. Как видно из выражений (30) и (31), общее изменение кинетической энергии для двух тел m_1 и m_2 будет равно $\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = W$, которое определяет общую кинетическую энергию этих двух тел относительно системы отсчета K' , движущейся с первоначальной скоростью \bar{V} . Но, так как при высвобождении энергии W скорость системы K' изменилась и стала равной \bar{u}_2 , то условно можно считать в соответствии с

формулой (29), что энергия W была затрачена на сообщение телу с массой $m_{\text{пр}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ кинетической энергии

$$E_{\text{кин}} = W = \frac{m_{\text{пр}} v^2}{2} \quad (32)$$

относительно системы отсчета K' , движущейся со скоростью \bar{v}_2 . Поэтому нельзя считать, что в движущейся системе отсчета K' кинетическая энергия тела m_1 равна $m_1 v^2 / 2$.

Если $m_1 \ll m_2$, то с высокой точностью выполняется равенство $m_{\text{пр}} = m_1$ и тогда можно использовать формулу $E_{\text{кин}} = \frac{m_1 v^2}{2}$.

Если же m_1 и m_2 одного порядка, то правильной будет формула (32). В этом случае из этой формулы можно выразить значение массы m_2 , измерив относительную скорость v и зная массу m_1 и энергию W .

Пример 4. Рассмотрим тот же самый пример 3, в котором взаимодействие тел m_1 и m_2 осуществляется через действующие на них постоянные силы $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2 = \overline{const}$. Для этих тел запишем 2-й закон Ньютона

$$\frac{d^2 \bar{j}_1}{dt^2} = \bar{a}_1, \quad \frac{d^2 \bar{j}_2}{dt^2} = \bar{a}_2, \quad (33)$$

где \bar{j}_1, \bar{j}_2 – перемещения тел относительно неподвижной системы отсчета K ; $\bar{a}_1 = \bar{F}_1 / m_1$, $\bar{a}_2 = \bar{F}_2 / m_2$ – их ускорения. Пусть в начальный момент времени $t=0$ скорости тел равны \bar{V} , а перемещения нулю. Интегрируя уравнения (33) при заданных начальных условиях, получим

$$\bar{v}_1 = \bar{a}_1 t + \bar{V}, \quad \bar{v}_2 = \bar{a}_2 t + \bar{V}, \quad (34)$$

где \bar{v}_1 и \bar{v}_2 – скорости тел относительно системы K .

Из равенства сил $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2$ следует

$$\bar{a}_2 = -\lambda \bar{a}_1, \quad \text{где } \lambda = m_1 / m_2. \quad (35)$$

Учитывая выражения (34) и (35), относительная скорость 1-го тела относительно 2-го запишется в виде

$$\bar{v} = \bar{v}_1 - \bar{v}_2 = (1 + \lambda)\bar{a}_1 t . \quad (36)$$

Используя выражения (34) – (36), вычислим изменения кинетических энергий этих тел относительно системы отсчета K .

$$\Delta E_1 = \frac{m_1}{2}(v_1^2 - V^2) = \frac{m_1 \bar{V} \bar{v}}{1 + \lambda} + \frac{m_1 v^2}{2(1 + \lambda)^2} . \quad (37)$$

$$\Delta E_2 = \frac{m_2}{2}(v_2^2 - V^2) = -\frac{m_1 \bar{V} \bar{v}}{1 + \lambda} + \frac{\lambda m_1 v^2}{2(1 + \lambda)^2} . \quad (38)$$

При $\bar{V} \bar{v} > 0$ 1-е тело принимает, а 2-е отдает энергию $\frac{m_1 \bar{V} \bar{v}}{1 + \lambda}$.

При $\bar{V} \bar{v} < 0$ 1-е тело отдает, а 2-е принимает энергию $\left(-\frac{m_1 \bar{V} \bar{v}}{1 + \lambda} \right)$.

Если действие сил \bar{F}_1 и \bar{F}_2 вызвано некоторым источником, выделившим энергию W , то записав закон сохранения энергии относительно неподвижной системы отсчета K и учитывая выражения (34) – (36), получим

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m_{\text{пр}}}} , \quad (39)$$

где $m_{\text{пр}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ – приведенная масса.

Относительная скорость (39) не зависит от направления сил, действующих на тела m_1 и m_2 , и от скорости \bar{V} их совместного движения, что является доказательством выполнимости принципа относительности.

Как было оговорено в начале этого пункта, скорости тел и систем отсчета в рассмотренных примерах считаются малыми, когда зависимостью массы тела от скорости его движения пренебрегаем. В этом случае классический принцип относительности выполняется и причиной его выполнимости, как было показано в рассмотренных примерах, является передача некоторой кинетической энергии от одного тела к другому, в результате чего выполняется закон сложения скоростей (4), выражающий выполнимость классического принципа относительности. Но не только передача кинетической

энергии от одного тела к другому является причиной выполнимости классического принципа относительности, которой в общем-то могло и не быть. Существенным для выполнения классического принципа относительности является также и то, что в законы сохранения энергии и импульса скорость \bar{V} совместного движения взаимодействующих тел (скорость движения системы отсчета K') входит в степени, не превышающей второй. Вследствие этого при решении соответствующей системы уравнений скорости тел после их взаимодействия от скорости \bar{V} зависят линейно. При вычислении относительной скорости одного тела относительно другого скорость \bar{V} сокращается, что и подтверждает выполнение классического принципа относительности. Если же учесть зависимость массы тела от скорости его движения, то относительная скорость двух взаимодействующих тел будет зависеть от скорости \bar{V} , что приведет к невозможности выполнимости принципа относительности. Вывод аналитического выражения для относительной скорости двух тел после их взаимодействия в этом случае является затруднительным и мы его в данной работе рассматривать не будем.

4. Опыт по измерению анизотропии скорости электронного луча

Анизотропия максимальной относительной скорости (скорости тела, измеренной в какой-либо системе отсчета), выражаемая неравенствами (1) и (2) в пункте 2, опровергает как принцип относительности Галилея, так и специальный принцип относительности Эйнштейна. Дело остается только за экспериментальной проверкой этого положения. Такую проверку можно осуществить, измеряя скорость релятивистских электронов по двум взаимно противоположным направлениям. Напомним, что использовать для этой цели свет нельзя, так как согласно нашей гипотезе [6] он полностью увлекается гравитационным полем Земли, вследствие чего его скорость по всем направлениям относительно Земли одна и та же. Неравенство (1) покажет меньшую скорость движения электронов, а неравенство (2) – большую. Величина ожидаемого эффекта определяется значением скорости // движения Земли относительно абсолютной системы отсчета. Прежде, чем заняться вычислением относительных скоростей электронов по двум взаимно противоположным направлениям, вычислим значение кинетической энергии

электрона, движущегося в абсолютной системе отсчета со скоростью $V = c - \Delta$, где Δ – малая величина. При расчете мы будем использовать известные формулы релятивистской физики, вовсе не считая их следствием специальной теории относительности. Эти формулы выводятся без какого бы то ни было использования специальной теории относительности и не имеют к ее постулатам абсолютно никакого отношения. В самом деле, формулу $E = mc^2$ Эйнштейн вывел [14, стр. 735] без использования постулатов специальной теории относительности. Считая соотношение $E = mc^2$ верным, Льюис [12, стр. 166] вывел известную зависимость массы от скорости $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ на основе 2-го закона Ньютона.

Кинетическая энергия электрона, движущегося относительно абсолютной системы отсчета со скоростью $V = c - \Delta$, запишется в виде

$$E_{\text{кин}} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right), \quad (40)$$

где $\beta = \frac{V}{c} = 1 - \frac{\Delta}{c}$, $\frac{\Delta}{c} \ll 1$, m_0 – масса покоя электрона.

Тогда с точностью до величин первого порядка Δ/c получим

$$E_{\text{кин}} \approx \frac{m_0 c^2}{\sqrt{2\Delta/c}}. \quad (41)$$

Будем измерять время, затрачиваемое светом и электронным лучом на прохождение одного и того же пути l на поверхности Земли. Свет и электронный луч из некоторой точки испускаются одновременно. Поскольку, как мы знаем, скорость света относительно Земли одинакова по величине по всем направлениям по причине, изложенной в [6], то время, затрачиваемое светом на прохождение пути l будет одинаковым независимо от направления его распространения и равно $t_c = l/c$.

Для случая, соответствующего неравенству (1) относительная скорость электронного луча равна $v = V - u = c - \Delta - u \approx c - u$, так как $\Delta \ll u \ll c$. Время прохождения электронным лучом пути l равно $t_1 = l/v = l/(c - u)$. Разница времен, затрачиваемых

светом и электронным лучом на прохождение пути l запишется в виде

$$\tau_1 = t_1 - t_c = \frac{l}{c-u} - \frac{l}{c} = \frac{l}{c} \cdot \frac{u}{c} \cdot \frac{1}{1-u/c} \approx \frac{lu}{c^2}. \quad (42)$$

Аналогично для случая, соответствующего неравенству (2), запишем $v = V + u = c - \Delta + u \approx c + u$. Тогда время, затрачиваемое электронным лучом на прохождение пути l , равно $t_2 = l/(c + u)$.

Разницей времен на пути l для света и электронного луча будет

$$\tau_2 = t_c - t_2 = \frac{l}{c} - \frac{l}{c+u} = \frac{l}{c} \cdot \frac{u}{c+u} \approx \frac{lu}{c^2}. \quad (43)$$

Выражения (42) и (43), вычисленные с точностью до членов u/c , оказались одинаковыми

$$\tau = \tau_1 = \tau_2 = lu/c^2. \quad (44)$$

Для случая, соответствующего неравенству (1), для времени прохождения электронным лучом пути l запишем

$$t_1 = t_c + \tau = \frac{l}{c} + \tau \Rightarrow v_1 = \frac{l}{t_1} = \frac{l}{(l/c) + \tau}. \quad (45)$$

Аналогично для случая, соответствующего неравенству (2), запишем

$$t_2 = t_c - \tau = \frac{l}{c} - \tau \Rightarrow v_2 = \frac{l}{t_2} = \frac{l}{(l/c) - \tau}. \quad (46)$$

В выражениях (45) и (46) v_1, v_2 – скорости электронного луча относительно Земли по направлению ее движения и против относительно абсолютной системы отсчета соответственно.

Величина разности между этими скоростями равна

$$\begin{aligned} \Delta v = v_2 - v_1 &= l \left(\frac{1}{(l/c) - \tau} - \frac{1}{(l/c) + \tau} \right) = \\ &= \frac{2l\tau}{((l/c) - \tau)((l/c) + \tau)} \approx \frac{2\tau c^2}{l}, \end{aligned} \quad (47)$$

так как из (44) следует $\tau \ll l/c$. Подставив (44) в (47), получим $\Delta v = 2u$, что и должно быть. Из формулы (44) находим абсолютную скорость движения Земли

$$u = \tau c^2 / l . \quad (48)$$

Из астрономических данных известно, что Земля движется относительно центра Галактики со скоростью, примерно равной 250 км/с. С какой скоростью движется Галактика относительно абсолютного пространства неизвестно. Если принять космологическую модель Вселенной со сценарием Большого Взрыва, то тогда Галактика должна была бы двигаться относительно абсолютного пространства с высокой скоростью, по порядку величины равной скоростям движения других галактик. Если бы это действительно было так, то мы бы наблюдали сильнейшую анизотропию в скоростях движения элементарных частиц в ускорительной технике. Но поскольку этого нет, то остается заключить, что гипотеза Большого Взрыва является неверной, вследствие чего Вселенная не расширяется, она стационарна. Галактики приобретают свою скорость исключительно за счет гравитационного взаимодействия друг с другом, а потому их скорость не может быть высокой. Что же касается космологического красного смещения в спектрах далеких галактик, то причиной этого явления не является эффект Доплера ввиду отсутствия у галактик больших скоростей. Причину космологического красного смещения нужно изыскивать в другом. Возможно, что это смещение обусловлено несколькими причинами. Гипотез на это явление существует предостаточно, их надо анализировать и отбирать те из них, которые наиболее правдоподобно соответствуют опыту.

Пусть скорость электронного луча в описанном выше опыте отличается от скорости света на величину $\Delta = 30$ км/с (можно взять и побольше). Тогда энергия электронов в электронном луче, выражаемая по формуле (41), будет равна

$$E_{\text{кин}} = \frac{0,511}{\sqrt{2 \cdot 10^{-4}}} \approx 36 \text{ МэВ} , \quad (49)$$

где было принято $m_0 c^2 = 0,511$ МэВ, $\Delta / c = 30 / 300000 = 10^{-4}$.

Энергия электронов в электронном луче в 36 МэВ достижима в лабораторных условиях при помощи небольших линейных ускорителей. Дело экспериментаторов проверить предложенный здесь опыт с возможно наибольшей точностью.

5. Абсолютное время

Ньютон [1, стр. 30]

“Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно, и иначе называется длительностью“.

Ньютон [1, стр. 31]

“Абсолютное время различается в астрономии от обыденного солнечного времени уравнением времени. Ибо естественные солнечные сутки, принимаемые при обыденном измерении времени за равные, на самом деле между собою не равны. Это неравенство и исправляется астрономами, чтобы при измерениях движений небесных светил применять более правильное время. Возможно, что не существует (в природе) такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться с совершенною точностью. Все движения могут ускоряться или замедляться, течение же абсолютного времени изменяться не может. Длительность или продолжительность существования вещей одна и та же, быстры ли движения (по которым измеряется время), медленны ли, или их совсем нет, поэтому она надлежащим образом и отличается от своей, доступной чувствам, меры, будучи из нее выводимой при помощи астрономического уравнения. Необходимость этого уравнения обнаруживается как опытами с часами, снабженными маятниками, так и по затмениям спутников Юпитера”.

Здесь Ньютон фактически говорит о неизменяемости длительности какого-либо физического процесса от используемого способа измерения времени, т.е. от устройства часов. Если для измерения времени применять часы, различающиеся используемыми в них физическими процессами для отсчета времени, то при принятых в них единицах измерения времени, они покажут разное время. Однако, выразив одни единицы измерения времени через другие, мы получим, что длительность некоторого физического процесса, измеренная этими часами, окажется одинаковой. Длительность физического процесса не зависит от используемых для ее измерения часов, так как сведя единицы измерения времени у разных часов к одной и той же какой угодно единице измерения, мы получим одинаковую длительность, измеренную всеми часами. Это и есть абсолютное время, для которого единицу измерения времени можно выбрать математически сколь угодно малой. Длительность физического процесса по способу ее измерения аналогична способу измерения длины тела, при котором, как всем очевидно, длина тела не зависит от используемой для ее измерения единицы длины. Численные значения длины тела, полученные при помощи использования разных единиц измерения, естественно будут различны. Сама же

длина тела является величиной абсолютной, не зависящей от способа ее измерения, поскольку процесс измерения длины не изменяет размер самого тела. При измерении длины тела это всем ясно и понятно, поскольку данное тело мы наблюдаем своими глазами непосредственно и можем его зафиксировать в некоторой системе координат. При измерении же длительности времени у нас нет такого наглядного восприятия ее длительности, кроме как ее измерения какими-либо часами. Но аналогия с измерением длины тела показывает, что длительность физического процесса является величиной абсолютной. Также мы ощущаем течение времени (ее длительность) своими биологическими часами, заложенными в нас Природой.

Поскольку ход часов, используемых для измерения времени, может зависеть либо от состояния их движения (что утверждается в специальной теории относительности), либо от материальной среды (например, от физического поля; в общей теории относительности утверждается, что ход времени зависит от поля тяготения), в которой часы находятся, то в этих случаях не следует говорить, что время изменяется (длительность времени). От этих условий может изменяться ход часов (период их колебаний) и соответственно этому показания часов, но, как было рассмотрено выше, длительность времени останется прежней. Вот именно под длительностью времени Ньютон и понимает свое абсолютное время.

Длительность времени является величиной абсолютной и независимой от каких бы то ни было условий, в которых находятся часы.

В специальной теории относительности утверждается, что в движущихся инерциальных системах отсчета время течет медленнее. Это значит, что показания часов между двумя событиями в движущихся системах отсчета будут меньше показаний таких же неподвижных часов между этими же событиями. Формально это выражается формулой

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - u^2 / c^2}, \quad (50)$$

где u – скорость движения движущейся системы отсчета относительно неподвижной системы отсчета; Δt – время между двумя событиями, показываемое неподвижными часами; $\Delta t'$ – время между этими же событиями, показываемое движущимися часами. Пусть T и T' – периоды колебаний неподвижных и движущихся часов соответственно. Так как длительность времени

между этими событиями в обеих системах отсчета одна и та же, то запишем

$$\Delta t \cdot T = \Delta t' \cdot T' \Rightarrow T' = T \frac{\Delta t}{\Delta t'} = \frac{T}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}. \quad (51)$$

Из этой формулы видно, что период колебаний часов T' в движущейся системе отсчета будет больше периода колебаний T таких же по природе часов в неподвижной системе отсчета.

Зависимость периода колебаний часов от их движения экспериментально еще не установлена. И если эта зависимость имеет место, то необходимо еще установить как изменяется период колебаний часов от того физического процесса, который взят в данных часах за способ измерения единицы времени, т.е. от природы часов. Будет ли эта зависимость одинаковой или разной для часов любой природы? Этот вопрос будет однозначно разрешен при появлении высокоскоростных ракет, на которых можно будет провести соответствующие опыты. А пока домыслами заниматься не будем. Выводы специальной теории относительности об изменении хода часов в движущихся системах отсчета признать справедливыми нельзя по причине ошибочности этой теории, о которой было упомянуто в данной работе выше.

6. Инерция и масса материи

Про силы инерции написано много, но единообразного понимания нет. Что же следует понимать под силами инерции? Силы инерции проявляют себя в неинерциальных системах отсчета и бывают они двух типов – фиктивные и реальные.

Фиктивные силы инерции обусловлены кинематически: если свободное тело находится в покое или в прямолинейном и равномерном движении относительно некоторой инерциальной системы отсчета, то рассмотрение этого тела относительно ускоренной системы отсчета приводит к кинематическому ускорению тела относительно этой ускоренной системы отсчета. А поскольку ускорение обычно связывают с действием на тело сил, то и ввели в этом случае силу инерции, которая является фиктивной, так как на тело никакие силы не действуют. Свободное тело, введенное выше, означает, что это тело не связано ни с какими системами отсчета реальными силами. В данном случае фиктивную силу инерции ввели для удобства описания движения этого тела относительно неинерциальной системы отсчета – как будто бы на тело действует реальная сила. Наблюдаемое относительно

ускоренной системы отсчета ускорение свободного тела является кинематическим, так как оно вызвано изменением положения этой ускоренной системы отсчета относительно инерциальной системы отсчета, относительно которой рассматриваемое тело находится в покое или равномерном и прямолинейном движении.

Реальные силы инерции обусловлены динамически: они действуют на механическую связь (нить, стержень, контакт и т.д.) рассматриваемого тела с ускоренной системой отсчета и направлены противоположно ускорению неинерциальной системы отсчета.

Для прямолинейно движущейся неинерциальной системы отсчета с ускорением \bar{a} реальная сила инерции равна $\bar{F}_и = -m\bar{a}$, где m – масса рассматриваемого тела. Эта сила действует на механическую связь, растягивая нить или стержень, сжимая стержень или пружину или производя давление на тело, жестко связанное с неинерциальной системой отсчета. На само же тело m действует сила реакции со стороны механической связи (сила натяжения нити, стержня и т.д.) противоположно силе инерции, т.е. $\bar{R} = -\bar{F}_и$, если отсутствуют другие реальные силы, действующие на тело m .

Для вращающейся неинерциальной системы отсчета, сказанное выше относительно прямолинейно движущейся неинерциальной системы отсчета остается тем же самым с той лишь разницей, что вместо прямолинейного ускорения вводится центростремительное, а вместо силы инерции вводится центробежная сила. Центростремительное ускорение равно $\bar{a}_ц = \omega^2 \bar{r}$, где ω – угловая скорость вращения любой материальной точки, жестко связанной с вращающейся неинерциальной системой отсчета; \bar{r} – радиус-вектор этой точки, направленный от нее к центру вращения системы отсчета. Тогда центробежная сила запишется в виде $\bar{F}_ц = -m\bar{a}_ц$. Эта сила действует на механическую связь тела m с неинерциальной системой отсчета. На само же тело m действует сила реакции этой связи, направленной противоположно центробежной силе, т.е. $\bar{R} = -\bar{F}_ц$, если другие реальные силы на тело m не действуют.

Обычно считается, что все силы инерции являются фиктивными, так как они не обусловлены взаимодействием тел. Существует и другая точка зрения, особенно связанная с

эйнштейновским пониманием, что силы инерции ничем не хуже других сил, обусловленных взаимодействием тел.

Введенное нами выше разделение сил инерции на фиктивные и реальные является с нашей точки зрения более правильным, так как отражает факт отсутствия действующих на тело m сил в первом случае и присутствие действующих на тело m сил во втором случае соответственно.

Динамическая обусловленность реальных сил инерции проистекает из существующей инертности тел, т.е. массы. Обратимся к ньютоновскому определению силы инерции [1, стр. 25]: *“Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.*

Эта сила всегда пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее.

От инерции материи происходит, что всякое тело лишь с трудом выводится из своего покоя или движения. Поэтому «врожденная сила» могла бы быть весьма вразумительно названа «силою инерции». Эта сила проявляется телом единственно лишь, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение в его состоянии. Проявление этой силы может быть рассматриваемо двояко: и как сопротивление и как напор. Как сопротивление – поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить свое состояние; как напор – поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия. Сопротивление приписывается обыкновенно телам покоящимся, напор – телам движущимся. Но движение и покой, при обычном их рассмотрении, различаются лишь в отношении одного к другому, ибо не всегда находится в покое то, что таковым простому взгляду представляется”.

Ньютон точно высказался о проявлении силы инерции (реальной силы инерции по нашему определению, изложенному выше), появляющейся лишь тогда, когда к телу приложена другая сила, которая производит изменение в его состоянии. Этой другой силой является сила реакции механической связи \bar{R} , которая действует на тело m . Следует обратить внимание на слова Ньютона: “Эта сила проявляется телом единственно лишь, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение в его состоянии”. В этой фразе следует выделить слова “... производит изменение в его состоянии”. Ньютон понимал, что при воздействии на тело реальной силой оно изменяет свое состояние. Он не говорит, что сила изменяет состояние движения тела, а просто производит изменение в состоянии тела. И это более важно, чем изменение

состояния движения тела, так как движение тела – это внешнее проявление воздействия на него силы. Изменение же состояния тела отражает его внутреннее изменение, о котором Ньютон ничего не говорит, но интуитивно понимает, что с телом что-то должно происходить при воздействии на него силы. Отсюда и вытекает его убежденность в существовании абсолютного движения, обусловленного действующей на тело силой, в противоположность относительному движению, порождаемому и изменяемому без воздействия на тело силы.

Выше, в пункте 2, мы уже ответили на вопрос о том, что происходит с внутренним состоянием тела при воздействии на него силы. Это внутреннее состояние тела обусловлено поглощенными из ускоряемого поля элементами поля, являющимися элементарными носителями материи. Количество поглощенных элементов поля определяет кинетическую энергию тела относительно абсолютного пространства. Поскольку процесс поглощения телом элементов поля из ускоряемого поля происходит с некоторой скоростью и что эти элементы поля распределяются по всей материальной структуре этого тела, то это и объясняет существование инерции тела, т.е. массы, вследствие чего тело изменяет величину своей скорости в соответствии с количеством поглощенных им элементов поля на единицу количества материи этого тела за единицу времени.

В приведенной выше цитате о понятии силы инерции Ньютон говорит о массе, пропорциональной силе инерции. Понятие Ньютона о массе содержится в следующих его цитатах [1, стр. 23]:

“Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее”.

“Это же количество я подразумеваю в дальнейшем под названиями *тело* или *масса*. Определяется масса по весу тела, ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками, произведенными точнейшим образом, ...”.

Во времена Ньютона под материей понимали всю совокупность наблюдаемых тел, жидкостей и газов, которые характеризовались их плотностью и объемом и представляли собой вещество. И если вещество могло сжиматься или расширяться, то количество материи, содержащейся в нем, от этого не изменялось, что и нашло свое отражение в ньютоновском определении количества материи (массы). С другой стороны в опытах с маятниками Ньютон установил, что масса пропорциональна весу тела, поэтому естественно было измерять массу тела через его вес. Позже, когда было экспериментально доказано атомно-молекулярное строение

вещества, стали считать, что количество материи, содержащейся в веществе, пропорционально количеству атомов этого вещества, которое в свою очередь пропорционально его массе. Вследствие чего количество материи и масса стали синонимами, т.е. количество материи, заключенной в веществе, пропорционально его массе. Такое понимание количества материи и массы удержалось вплоть до начала 20-го века, когда теоретически и экспериментально была установлена зависимость массы тела от скорости его движения, а следовательно, от его кинетической энергии. Но кинетическую энергию не сопоставляли с некоторым количеством материи, в то время как массу считали пропорциональной количеству материи. Зависимость массы тела от его кинетической энергии явилась частным случаем известного соотношения Эйнштейна $E = mc^2$, породившего множество дискуссий, например [8], связанных с пониманием процессов взаимопревращений разных видов энергии друг в друга с соответствующими изменениями массы. Специальная теория относительности внесла свой вклад в отрицание существования пропорциональности кинетической энергии тела некоторому дополнительному количеству материи, приобретенной этим телом в процессе изменения его скорости. Это следует из того, что кинетическая энергия в специальной теории относительности является относительной величиной, о чем мы уже неоднократно указывали и подробно проясняли как в пункте 2 данной работы, так и в наших прежних работах. Кинетическая энергия тела в специальной теории относительности зависит от изменения системы отсчета без воздействия на тело реальных сил, изменяющих его внутреннее состояние, вследствие чего количество материи этого тела не изменяется, а кинетическая энергия, как это принято в специальной теории относительности, изменяется. Но дальнейшее развитие физики привело к пониманию строения атома и атомного ядра, в которых кинетические энергии движения атомных электронов и ядерных нуклонов вносят свой вклад в величину массы атома в соответствии с соотношением Эйнштейна $E = mc^2$. Следовательно этой массе, обязанной кинетическим энергиям атомных электронов и ядерных нуклонов, соответствует некоторое количество материи, так как масса является характеристикой материи и сама по себе без материи существовать не может. Налицо мы получили противоречие этого факта с относительной величиной кинетической энергии в специальной теории относительности. Дефект массы в атомных ядрах также

приводит к пониманию того, что при образовании ядра из него высвобождается часть материи в виде энергии излучения квантов и других частиц. Этой высвободившейся при образовании ядра материи соответствует некоторая масса. Так же как и кинетическая энергия масса является характеристикой материи, а не самой материей. Инертные свойства материи определяются через понятие массы.

В свете новых представлений, изложенных в данной работе, под количеством материи следует понимать не только количество материи, содержащейся в атомах данного вещества, но и количество материи, соответствующее кинетической энергии частиц, образующих это вещество. Однако, само по себе количество материи не является измеримой величиной, поэтому мы можем говорить лишь только о пропорциональности количества материи, содержащейся в веществе, его массе, являющейся измеримой величиной. Тем самым мы вновь приходим к ньютоновскому определению понятия количества материи, выражаемого через величину массы с той лишь разницей, что теперь мы должны учитывать массу, соответствующую кинетической энергии вещества. Измерение массы тела (вещества) возможно либо через взвешивание тела в некотором известном поле тяготения, либо через измерение ускорения тела, вызванного некоторым взаимодействием. При использовании второго способа измерения массы по измеряемому ускорению тела предполагается малость этого ускорения, вследствие чего зависимостью массы от скорости движения тела можно пренебречь и тем самым использовать 2-й закон Ньютона. Практически измеряется не само ускорение тела, а, например, период колебаний некоторого маятника. Измерение массы тела через его взвешивание в поле тяготения является более простым способом, но менее точным. В обоих случаях точность измерения массы ограничена погрешностью измерений используемых измерительных средств. Как показали точнейшие опыты Этвеша и Дикке, вес тела определяется через величину его инертной массы, поэтому, измеряя вес тела, мы измеряем тем самым полную инертную массу, включая и ту часть массы, которая соответствует кинетической энергии частиц, образующих данное тело.

Следует также сказать, что материя представлена не только через вещество, состоящее из атомов, но и всевозможными физическими полями. Материя физических полей также обладает инертными свойствами, т.е. массой. Поэтому, если с телом связаны некоторые

физические поля, то при определении количества материи этого тела необходимо учитывать и количество материи, содержащейся в этих полях.

Соображения, приведшие Э. Маха к объяснению инерции через посредство взаимодействия тела со всеми остальными массами Вселенной могут быть пояснены выдержками из его книги [9].

“Когда же Ньютон попытался применить к системе планет принципы механики, найденные со времени Галилея, он заметил, что, насколько вообще можно судить, планеты в такой же мере сохраняют как будто свое направление и скорость относительно очень удаленных, как будто бы неподвижных друг относительно друга мировых тел (если не принимать во внимание действий сил), как это делают движущиеся на Земле тела относительно неподвижных объектов Земли. Отношение земных тел к Земле может быть сведено к их отношению к отдаленным небесным телам”, стр. 198.

Визуальные перемещения звезд настолько малы, что их условно можно принять за неподвижные и относительно них определять движение планет. Это носит чисто практический характер, так как наблюдаемые движения планет надо было относить к наблюдаемым телам.

“Поэтому, если мы говорим, что тело сохраняет свое направление и скорость в *пространстве*, то в этом заключается только краткое указание на то, что принимается во внимание *весь мир*”, стр. 198.

“Вместо того чтобы сказать, что направление и скорость какой-нибудь массы μ остаются в пространстве постоянными, можно также употребить выражение, что среднее ускорение массы μ относительно масс

m, m', m'', \dots на расстояниях $r, r', r'', \dots = 0$ или $\frac{d^2}{dt^2} \frac{\sum m\bar{r}}{\sum m} = 0$.”, стр.

199.

Направление и скорость тела в пространстве остаются постоянными вследствие выполнимости закона инерции, сущность которого заключена в сохранении внутренней структуры движущегося тела, обусловленной поглощенными элементами поля при его ускорении. Среднее же ускорение тела, равное нулю и определяемое его взаимодействием с удаленными массами, не объясняет почему тело движется с постоянной скоростью в неизменном направлении. Сказать же, что раз нет ускорения, то тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, значит повторить существующую формулировку закона инерции, не вскрыв причины его выполнимости. Роль удаленных масс в этом случае заключается лишь только в обеспечении

нулевого ускорения тела и только, но это не объясняет природу инерционного движения.

“Приведенные здесь рассуждения показывают, что нам нет вовсе надобности относить закон инерции к какому-нибудь особому абсолютному пространству. Напротив, мы видим, что, как те массы, которые, согласно обычному выражению, действуют друг на друга, так и те, которые друг на друга не действуют, находятся в совершенно однородных друг к другу отношениях ускорения, и именно можно считать, что *все* массы находятся в связи друг с другом”, стр. 200.

Массы находятся в связи друг с другом посредством гравитационного взаимодействия, но это не имеет никакого отношения к закону инерции. Из самой формулировки ньютоновского закона инерции явствует, что закон инерции выполняется в предположении отсутствия каких-либо сил, действующих на тело. Опыт же показывает, что с уменьшением действующих на тело сил закон инерции выполняется более точно. Поэтому в пределе, когда силы, действующие на тело, пренебрежимо малы и ими можно пренебречь, закон инерции выполняется точно. Это обстоятельство позволяет сделать заключение, что закон инерции не может быть объяснен при помощи некоего взаимодействия данного тела с какими-либо другими телами. По этой причине объяснение закона инерции следует искать в свойствах самого тела. Закон инерции относится к абсолютному пространству в том понимании, что существует абсолютное движение, происходящее относительно абсолютного пространства. Поэтому любое тело находится либо в состоянии движения, либо в состоянии покоя относительно абсолютного пространства. Соображения, подтверждающие существование абсолютного пространства и абсолютного движения, были изложены выше. Остается теперь только доказать реальность существования абсолютного пространства и абсолютного движения на опыте. Схема такого опыта была нами предложена в пункте 4 данной работы.

“Мы сделали выше попытку дать закону инерции выражение, отличающееся от обыкновенного. Это новое выражение служит так же, как обычное, покуда есть достаточное число тел в мировом пространстве, как будто бы неподвижных”, стр. 201.

Эту попытку объяснения закона инерции нельзя признать удачной, что нами было показано несколькими строками выше.

О массе и инерции Эйнштейн высказался в своей работе [11, стр. 223], в которой он показал, что если полая массивная сфера испытывает ускорение вдоль оси, проходящей через ее центр, то

инертная масса материальной точки, расположенной в центре сферы, возрастает. Далее Эйнштейн заключает:

“Это наводит на мысль о том, что инерция материальной точки полностью обусловлена воздействием всех остальных масс посредством некоторого рода взаимодействия между ними”.

В примечании Эйнштейн пишет:

”Это полностью совпадает с точкой зрения, выдвинутой Э. Махом в его остроумных исследованиях по этому вопросу”.

Мах считал, что инертная масса тела обусловлена его гравитационным взаимодействием со всеми массами Вселенной. Такое понимание происхождения инертной массы тела было возведено Эйнштейном в ранг принципа Маха [11, стр. 613] и использовано им в многочисленных своих работах. В дальнейшем Эйнштейн полностью отказался от принципа Маха. В письме одному из коллег в 1954 году он написал [17, стр. 279]: “Кстати, о принципе Маха вообще больше говорить не стоит”.

В своей книге [17, стр. 280] А. Пайс пишет:

“Мне кажется, по сей день принцип Маха не позволил сколько-нибудь продвинуть вперед физическую науку. Кроме того, по моему мнению, проблема происхождения инерции была и остается *наиболее* темным вопросом в теории частиц и полей”.

Мы согласны с Пайсом, что принцип Маха не прояснил вопроса о происхождении инертных свойств тел. Маховскому пониманию происхождения инертной массы тела и сил инерции посвящено большое количество опубликованных работ. Подробный обзор использования концепции Маха содержится в книге [18].

В настоящее время вопросы о происхождении масс элементарных частиц интенсивно рассматриваются в физике элементарных частиц. Приведем некоторые выдержки современных представлений о происхождении массы.

Энциклопедическая статья [15, стр. 51]:

“... основной вклад в массу нуклонов дает сильное взаимодействие, обусловленное *глюонами*, а не массой входящих в нуклоны кварков. Но не известно, чем обусловлены массы *глюонов* и кварков. Существует гипотеза, что здесь основную роль играют фундаментальные бозоны с нулевым спином – так называемые хиггсовы бозоны”.

Иоффе Б.Л. в УФН пишет [16]:

“Одна из важнейших проблем, нерешенных при проверке Стандартной модели, которую, как предполагается, должны решить опыты на ЛНС (и будущих ускорителях), является проблема возникновения масс частиц”.

“... наблюдение хиггсовского бозона и его взаимодействий с кварками и лептонами объяснит возникновение масс у лептонов и кварков”.

“Нуклон состоит из u - и d -кварков. Но массы u - и d -кварков малы: $m_u + m_d \approx 10$ МэВ, т.е. их массы составляют малую долю $\sim 1 - 2\%$ от массы нуклона”.

“Масса нуклона возникает за счет спонтанного нарушения киральной симметрии в квантовой хромодинамике (КХД) и может быть выражена через нарушающие киральную симметрию вакуумные конденсаты”.

Массу нуклона выражают через массу кваркового конденсата, масса которого выражается через массы π -мезона, u - и d -кварков. В пределе при массах u - и d -кварков, стремящихся к нулю, масса π -мезона также стремится к нулю, в результате чего масса кваркового конденсата стремится к постоянному пределу. Теоретическое значение массы нуклона, полученное на основе этих представлений и определенной из опыта величины кваркового конденсата, равно $m = 1,09$ ГэВ, экспериментальное значение $m = 0,94$ ГэВ.

“Таким образом, для выяснения причины возникновения массы нуклона нужно понять механизм нарушения киральной симметрии в КХД.”

“Масса электрона возникает за счет взаимодействия с хиггсовским полем. Поэтому происхождение масс протона и электрона совершенно разное, и сильное их отличие не столь удивительно.

Краткое замечание относительно темной материи. Природа ее сейчас неизвестна. По-видимому, частицы темной материи весьма тяжелые и слабо взаимодействуют с обычной материей. В этом случае маловероятно, что их масса возникает за счет взаимодействия с полем Хиггса.”

Из приведенных цитат следует, что выяснение механизма происхождения масс у элементарных частиц сводится к вопросам нарушений разного рода симметрий и взаимодействий с хиггсовским полем. Так в Стандартной модели нарушение калибровочной $SU(2)$ -симметрии, необходимой для того, чтобы промежуточные бозоны W^\pm, Z стали массивными, реализуется за счет введения некоторого скалярного поля $\varphi = \varphi_0 + \chi$, где χ – квантовое поле, квантами которого являются хиггсовские бозоны. Поле φ взаимодействует с полями W^\pm, Z , кварками, лептонами и с самим собой. За счет постоянного скалярного поля φ_0 в лагранжиане взаимодействия появляются массовые члены, соответствующие квадратам масс промежуточных бозонов, кварков и лептонов, когда скалярное поле φ приобретает вакуумное среднее значение. Получаемые таким образом значения масс частиц содержат в себе неизвестные константы взаимодействия, которые для разных частиц различны. Теоретического определения этих

констант взаимодействий на сегодняшний день не существует. Таким образом, вычисление масс частиц свелось к вычислению соответствующих констант взаимодействий, разных для различных частиц. Одна проблема перешла в другую проблему. Поэтому нельзя сказать, что, используемый в физике элементарных частиц подход для выяснения механизма происхождения масс частиц привел к прояснению этого вопроса.

Общим свойством, которым обладают любые элементарные частицы, является наличие у них массы. Разные объяснения механизма возникновения масс для разных частиц, используемые в физике элементарных частиц, наводят на подозрения, что эти объяснения не соответствуют физической реальности. Это скорее всего теоретическая подгонка под наблюдаемые значения масс частиц. Кроме того, эти объяснения не вскрывают причину происхождения основного свойства массы – проявления инертности. На вопрос – чем объясняются инертные свойства частиц – физика элементарных частиц не отвечает. Она просто пытается вывести значения масс частиц через нарушения разного рода симметрий и взаимодействия частиц с некоторыми полями. Но это не объясняет причину происхождения инертных свойств частиц. Также такой подход не позволяет объяснить зависимость массы частицы от скорости ее движения.

Выше в этом пункте и пункте 2 мы показали, что масса (инертные свойства) тела (частицы) обусловлена процессом поглощения телом элементов поля при его ускорении в некотором силовом поле. Количество поглощенных при этом элементов поля соответствует дополнительной материи, распределенной по всей структуре тела и количество которой пропорционально величине его кинетической энергии.

Литература

1. Ньютон Исаак. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука, 1989.
2. Угаров В.А. Специальная теория относительности и опыт Майкельсона. УФН, Том 102, вып. 4, 1970.
3. Эфирный ветер: Сб. статей. /Под ред. В.А. Ацюковского. – М.: Энергоатомиздат, 1993.
4. Недосекин Ю.А. Еще раз о парадоксе часов в специальной теории относительности. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2006, вып. 4.

5. Недосекин Ю.А. Природа гравитации. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2006, вып. 3.
6. Недосекин Ю.А. Объяснение аберрации света, световых и электромагнитных опытов по обнаружению “эфирного ветра” с единой точки зрения. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 1.
7. Недосекин Ю.А. Природа пространства и физических полей. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 2.
8. УФН, Том XLVIII, вып. 2, 1952.
9. Мах Э. Механика. Историко-критический очерк ее развития. – Ижевск, 2000.
10. Эйнштейн А. Теория относительности. – Ижевск, 2000.
11. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том. 1, М.: Наука, 1965.
12. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, 1991.
13. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. – М.: Мир, 1964.
14. Лауэ М. Инерция и энергия. УФН, Том LXVII, вып. 4, 1959.
15. Окунь Л.Б. Масса. /Физическая энциклопедия. Том 3. М.: Большая Российская энциклопедия, 1992.
16. Иоффе Б.А. Природа массы и эксперименты на будущих ускорителях частиц высоких энергий. УФН, Том 176, вып. 10, 2006.
17. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. – М.: Наука, 1989.
18. Тредер Г.-Ю. Относительность инерции. – М.: Атомиздат, 1975.

Филиппенко Г.Г.

К вопросу о механизме сверхпроводимости в металлах-сверхпроводниках

Аннотация

В данной статье показано, что кроме тепловых колебаний атомов, влияющих на проводимость металлов-сверхпроводников при низких температурах (теория БКШ), существенное влияние на появление сверхпроводимости должно оказывать число электронов, отданных в зону проводимости каждым атомом кристаллической решетки, и взаимодействием этих электронов в зоне проводимости.

Введение

Почему решили связать появление сверхпроводимости с тепловыми колебаниями атомов решетки? Потому, что материалы изотопов элемента имели разные температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Конечно, такая зависимость есть, но она незначительна. Сверхпроводимость не зависит от типа решетки. Вокруг сверхпроводника ниобия в таблице элементов много проводников, но не сверхпроводимых. А тепловые колебания их атомов практически такие же. Почему же у других металлов сверхпроводимость не обнаруживается? Тепловые колебания атомов - не главный механизм сверхпроводимости! Проводимость, конечно, зависит от температуры. Но у меди и серебра почему-то при самых низких температурах сверхпроводимость не наблюдается, а у проводника ниобия, который проводит значительно хуже меди и серебра сверхпроводимость есть. Есть она и у более тяжелого свинца с типом кристаллической решетки меди. Значит не тепловые колебания главные здесь, а какие-то процессы в зоне проводимости. Для их рассмотрения необходимо знать число электронов, отдаваемое каждым атомом решетки в зону проводимости. Авторы БКШ утверждают, что в сверхпроводимости участвует каждый десятитысячный электрон, а согласно теории твердого тела в простой проводимости участвует от одного до примерно трех электронов от атома или, грубо, каждый десятый или

сотый электрон. Тем не менее, токи сверхпроводимости значительно больше токов обычной проводимости! Что-то происходит с электронами в зоне проводимости! Задача поставлена.

Решение этой задачи на качественном уровне

Зона проводимости представляется мне как поверхность ячейки Вигнера-Зейтца, которая располагается между атомами кристаллической решетки. А больше электрону проводимости и негде находиться, как только на этой поверхности. При переходе в сверхпроводящее состояние в зоне проводимости электроны должны образовать коллектив или стать зависимыми друг от друга. Значит в зоне проводимости число электронов, отданное атомом, должно быть значительным по сравнению с медью, никелем или серебром, которые не сверхпроводники. Число электронов проводимости в металлах - элементах приводится в работе [4].

У ванадия, ниобия и тантала по 5 электронов проводимости на атом и, соответственно, температуры переходов $T_c=5,30...9,26$ и $4,48\text{K}$. У гафния, титана и циркония по 3 электрона, а $T_c=0,09...0,39$ и $0,65\text{K}$. Посмотрим таблицу элементов справ - там свинец, олово - по 4-5 электронов и алюминий, галлий, индий, таллий, у которых по 2-3 электрона, а $T_c=1,196...1,091...3,40...2,39$ соответственно. У свинца и олова $T_c=7,19$ и $3,72$ соответственно. Что и требовалось доказать. Так как зона проводимости - поверхность, а электроны обладают спинами, то, по-моему, организация электронов проводимости в коллектив идет посредством взаимодействия через спины.

Я здесь хочу сказать, что электроны проводимости, конечно, как-то объединяются, но только не так как в БКШ, когда они начинают «заигрывать» на расстоянии в несколько тысяч атомов, между которыми находится еще больше электронов, и после этого "спариваются". Ясно и то, что число энергетических уровней в зоне проводимости не равно числу электронов проводимости (как в квантовой механике), а составляет величину, равную числу электронов проводимости от атома кристаллической решетки, т.е. 1-5 или чуть больше.

Электроны проводимости вносят низкий вклад в теплоемкость металла (закон Дюлонга-Пти). Теоретический же расчет по модели Друде показывает, что вклад электронов в теплоемкость должен

быть значительным. Предположительно, в реальном пространстве зона проводимости должна находиться в районе поверхности ячейки Вигнера-Зейтца. Грубо, она напоминает собой пчелиные соты. Поэтому электроны проводимости вносят низкий вклад в теплоемкость металла, т.к. они по сути находятся в пространстве двумерном со сложной поверхностью. Здесь - ошибка Друде. А периодичность для электрона проводимости в кристалле связана не столько с постоянной решетки, сколько со стереометрией гибридных (валентных) орбиталей атомных остовов – см. осцилляции в опытах де-Гааза-ван-Альфена по исследованию поверхности Ферми.

Выводы

Согласно выше изложенного для повышения T_c в металлах могут предложить следующее: отрицательно зарядить металлический образец и испытать его.

Литература

1. К вопросу о металлической связи в плотнейших упаковках химических элементов
http://kristall.lan.krasu.ru/Science/publ_grodno.html
2. Сверхпроводимость: позавчера, вчера, сегодня, завтра,
<http://fpfe.fizteh.ru/tvor/cond.html>
3. О предпосылках к открытию сверхпроводимости в дибориде магния и в алмазах см.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4526.html>
(на русском языке) и
<http://www.belarus.net/discovery/filipenko/fil2.htm>
(на английском языке)
4. О числе электронов проводимости в металлах-элементах см.
http://kristall.lan.krasu.ru/Science/publ_grodno.html

Серия: ЭНЕРГЕТИКА

Авдюнин Е.Г., Горшенин В.П.

Обоснование метода оптимизации мощности системы централизованного теплоснабжения

Аннотация

Обоснован метод оптимизации мощности системы теплоснабжения. Его обоснование проводится путем постановки и решения оптимизационной задачи. В качестве критерия оптимальности в задаче принят минимум удельных полных затрат на производство и транспортирование тепловой энергии. Задача решается с использованием метода пассивного поиска. Оптимизируемый параметр – количество систем теплоснабжения на территории проектируемого населенного пункта.

В России в настоящее время около 70 % потребляемой тепловой энергии производится централизованно – с использованием теплоисточников мощностью более 20 Гкал/ч [1, 2]. При этом до 40 % потребляемой тепловой энергии вырабатывается на ТЭЦ в рамках теплофикационного цикла [2, 3]. Преимущества централизованного теплоснабжения известны [4, 5].

Наиболее ненадежным элементом отечественных систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) являются тепловые сети. Низкое качество ремонта и эксплуатации тепловых сетей приводит к значительным утечкам теплоносителя, физическому разрушению тепловой изоляции и потере ею теплозащитных свойств, а также к коррозии и преждевременному износу стальных труб и оборудования. По данным [2,6] в тепловых сетях СЦТ теряется свыше 30 % произведенного количества теплоты.

Техническое состояние тепловых сетей и качество их гидравлического режима во многом зависит от их протяженности и степени разветвленности.

Значительная протяженность и разветвленность тепловых сетей, недостаточно высокий уровень автоматизации местных инженерных систем приводят к нарушению требуемого потокораспределения и рассогласованию режимов отпуска и

потребления теплоты в СЦТ. Следствием этих негативных факторов является перерасход в СЦТ теплоносителя и, соответственно, электрической энергии.

При этом протяженность и разветвленность тепловой сети определяется размером обслуживаемой территории. Соответственно, климатические условия, уровень теплопотребления зданий, размер обслуживаемой территории определяют мощность конкретной системы теплоснабжения.

Чем мощнее система теплоснабжения при заданных климатических условиях и уровне теплопотребления зданий, тем протяженнее тепловая сеть и больше затраты на неё. В тоже время с ростом мощности системы теплоснабжения снижаются расход топлива, капитальные затраты, численность обслуживающего персонала на единицу выработанной тепловой энергии.

Обоснование мощности систем централизованного теплоснабжения и, соответственно, их количества на территории населенного пункта позволяет обеспечить целесообразную протяженность теплопроводов тепловых сетей.

Соответственно, при проектировании нового населенного пункта (микрорайона, района) необходимо решать такую задачу как определение количества систем теплоснабжения на его территории, имеющих оптимальную мощность. При этом предполагается, что число жителей и плотность их расселения, тип зданий заданы. Естественно, площадь населенного пункта, а, следовательно, и его теплопотребление известны.

Задача рассматривается как оптимизационная и решается методом пассивного поиска [7]. В этом случае последовательно рассматривается n вариантов теплоснабжения населенного пункта ($i=1,2,\dots, n$). Населенный пункт имеет площадь F_n и в плане при решении задачи представляется в виде прямоугольника.

По каждому варианту i населенный пункт делится на m равных частей (районов), каждая площадью F_j . Для теплоснабжения каждой части j населенного пункта находит применение своя система (j – номер системы теплоснабжения или номер части населенного пункта по варианту i ; $j=1,2,\dots, m$). Следовательно, теплоснабжение населенного пункта по варианту i осуществляется m системами.

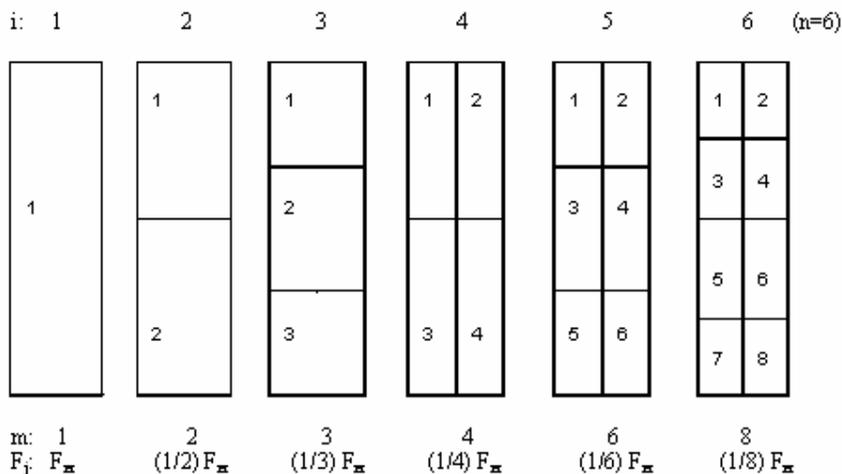


Рис. 1. Возможные варианты теплоснабжения населенного пункта, принятые для реализации процедуры оптимизации мощности системы теплоснабжения. i- номер варианта теплоснабжения; n- количество вариантов теплоснабжения; m- количество систем теплоснабжения, обслуживающих населенный пункт по рассматриваемому варианту i; F_j - площадь части (района) населенного пункта, обслуживаемой отдельной системой теплоснабжения; F_н - площадь населенного пункта.

Так, например, принимаем шесть вариантов теплоснабжения некоторого проектируемого населенного пункта. По первому варианту населенный пункт рассматривается в целом и его теплоснабжение осуществляется одной системой (m=1). По остальным вариантам населенный пункт делится последовательно на 2, 3, 4, 6 и 8 частей, как показано на рис. 1. В этом случае теплоснабжение населенного пункта по вариантам 2, 3, 4, 5, 6 обеспечивается, соответственно двумя (m=2), тремя (m=3), четырьмя (m=4), шестью (m=6) и восьмью (m=8) системами.

Параметром оптимизации в решаемой задаче является количество m систем теплоснабжения на территории населенного пункта или площадь F_j его отдельной части.

В качестве ограничения принимаются соотношения:

$$F_n = mF_j \quad (F_j = (1/m)F_n); \tag{1}$$

$$Q_n = \sum Q_{nj}, \tag{2}$$

где F_n, F_j – площадь, соответственно, населенного пункта и его отдельной части по рассматриваемому варианту, м²; m – количество районов и обслуживающих их систем теплоснабжения на территории населенного пункта, шт; Q_n, Q_{nj} – среднее за срок

службы системы годовое количество теплоты, потребленное, соответственно, населенным пунктом и его отдельной частью по рассматриваемому варианту, (кВт ч)/год;

$$Q_{\text{п}} = (\sum Q_{\text{п},k})/T_{\text{э}}; \quad Q_{\text{п}j} = (\sum Q_{\text{п}j,k})/T_{\text{э}}; \quad (3)$$

где $Q_{\text{п},k}$ ($Q_{\text{п}j,k}$) – количество теплоты, потребленное населенным пунктом (его частью j по рассматриваемому варианту) в k -том году, (кВт ч)/год; $T_{\text{э}}$ – срок службы (эксплуатации) системы теплоснабжения (сё отдельных элементов), год.

В том случае, если в каждом варианте $F_1 = F_2 = \dots = F_m$, $q_{\text{уа}} = \text{const}$ и $Q_{\text{п}1} = Q_{\text{п}2} = \dots = Q_{\text{п}m}$, то:

$$Q_{\text{п}} = mQ_{\text{п}j} = m q_{\text{уа}} F_j, \quad (4)$$

где $q_{\text{уа}}$ – удельный расход потребленной теплоты, (кВт ч)/(м² год).

Количество потребленной теплоты определяется, как известно, потерями теплоты через ограждения зданий путем теплопередачи и с эксфильтрующимся внутренним воздухом, а также затратами теплоты на нужды горячего водоснабжения.

При этом мощность отдельной системы теплоснабжения определяется количеством теплоты $Q_{j,k}$, отпущенной котельной. Количество отпущенной теплоты $Q_{j,k}$ и количество потребленной теплоты $Q_{\text{п}j,k}$ взаимосвязаны

$$Q = Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} = (1 + \beta^*) Q_{\text{п}} = \beta Q_{\text{п}}, \quad (5)$$

где Q – количество теплоты, отпущенное в k -том году котельной отдельной системы по i -тому варианту теплоснабжения (кВт ч)/год; $Q_{\text{с}}$ – количество теплоты, потерянное тепловой сетью, (кВт ч)/год; β^* – доля теплоты, теряемой тепловой сетью; $\beta^* = Q_{\text{с}}/Q_{\text{п}}$; β – коэффициент, учитывающий потери теплоты тепловой сетью; $\beta = Q/Q_{\text{п}}$; $\beta = 1 + \beta^*$.

Коэффициент β учитывает тепловые потери, как с утечками теплоносителя, так и путем теплопередачи через стенки теплопроводов.

Соответственно, выражение (5) раскрывается следующим образом:

$$Q = z c G_2 (t_r^* - t_o^*) = z c (G_{\text{п}} + G_{\text{с}}) [(t_r + \Delta t_r) - (t_o - \Delta t_o)] = \beta_y \beta_i Q_{\text{п}}, \quad (6)$$

где z – годовой фонд рабочего времени системы теплоснабжения, час; c , G_2 – соответственно, теплоемкость, кДж/(кг °С) и расход, кг/с теплоносителя (горячей воды), поступающего из котельной в подающую магистраль тепловой сети; $G_2 = G_{\text{п}} + G_{\text{с}}$; t_r^* , t_o^* – температуры теплоносителя, соответственно, на выходе и на входе в котельную (средние за отопительный период), °С; $G_{\text{п}}$ – расход теплоносителя, подводимого к инженерным системам (индивидуальным тепловым пунктам) зданий, кг/с; $G_{\text{с}}$ – количество

теплоносителя, теряемого в тепловой сети (утечки теплоносителя), кг/с; t_r, t_o – температуры теплоносителя, соответственно, на входе и на выходе из индивидуальных тепловых пунктов зданий (средние за отопительный период), °C; $\Delta t_r = t_r^* - t_r$, $\Delta t_o = t_o - t_o^*$; β_y – коэффициент, учитывающий потери теплоносителя в тепловой сети; $\beta_y = G_2/G_{II}$; $\beta_y = 1 + \beta_y^*$; β_r – коэффициент, учитывающий потери теплоты тепловой сетью путем теплопередачи через стенки теплопроводов; $\beta_r = 1 + \beta_r^*$; β_y^* – доля теплоносителя, теряемого в тепловой сети; $\beta_y^* = G_c/G_{II}$; β_r^* – доля теплоты, теряемой тепловой сетью путем теплопередачи; $\beta_r^* = (\Delta t_r + \Delta t_o)/(t_r - t_o)$;

$$Q_{II} = zcG_{II}(t_r - t_o). \quad (7)$$

Сравнивая выражения (5) и (6), имеем:

$$\beta = \beta_y \beta_r \approx 1 + \beta_y^* + \beta_r^*; \beta^* \approx \beta_y^* + \beta_r^* \text{ (т.к. } (\beta_y^* + \beta_r^*) \gg \beta_y^* \beta_r^* \text{)}. \quad (8)$$

Анализ литературных источников показывает, что, как правило, доля потерь теплоты в тепловых сетях увеличивается с ростом их протяженности, т.е. с ростом площади F_j территории, обслуживаемой системой теплоснабжения. Принимая в первом приближении зависимость $\beta = f(F_j)$ прямо пропорциональной можно написать:

$$\beta = \beta_o + k_\beta(F_j - F_o), \quad (9)$$

где F_o – площадь (принимаемая за эталон) территории, обслуживаемой, например, групповой системой теплоснабжения, в рамках которой потери тепловой энергии в тепловой сети принимаются стандартными, характеризуемые величиной $\beta = \beta_o$; k_β – коэффициент пропорциональности.

Решение сопряженных оптимизационных задач, обеспечивающих обоснование значений уровня теплозащиты зданий и параметров состояния теплоносителей в циркуляционных кольцах системы теплоснабжения, представлено в [8-11].

При решении поставленной задачи в качестве критерия оптимальности принимается минимум удельных полных затрат π_{yA} на производство и транспортирование тепловой энергии. Величина π_{yA} применительно к отдельной системе по i -тому варианту теплоснабжения определяется следующим образом:

$$\pi_{yA} = \pi / (T_3 Q_{II}) = S + E_3 K_q, \text{ руб}/(\text{кВт ч}), \quad (10)$$

где π – полные затраты, руб [12]; $\pi = K + T_3 C$; K – капитальные вложения (единовременные затраты), представляющие собой стоимость основных фондов (зданий, котлов, теплообменного оборудования, трубопроводов и пр.), руб; $E_3 = 1/T_3$; C – средние за срок службы системы ежегодные эксплуатационные (текущие) затраты, руб/год; $C = (\sum C_k)/T_3$; C_k – ежегодные эксплуатационные

(текущие) затраты за k -тый год, руб/год; S – средняя за срок службы системы себестоимость тепловой энергии, руб/(кВт ч); $S = (\sum S_k) / T_s$; S_k – себестоимость тепловой энергии за k -тый год, руб/(кВт ч); $S_k = C_k / Q_{п.к}$; K_q – удельные капитальные вложения, руб/(кВт ч); $K_q = K / Q_{п.}$

Величина $\pi_{y_{aj}}$ по выражению (10) применительно к отдельной системе теплоснабжения по i -тому варианту детализируется следующим образом (нижний индекс «j» опускается):

$$\pi_{y_a} = \pi_{y_{a1}} + \pi_{y_{a2}} \quad (11)$$

где $\pi_{y_{a1}}$, $\pi_{y_{a2}}$ – удельные полные затраты, соответственно, на выработку тепловой энергии котельной и на ее транспортирование тепловой сетью.

Соответственно, записываем:

$$K_q = K_{q1} + K_{q2}; \quad (12)$$

$$S = S_1 + S_2, \quad (13)$$

где K_{q1} , K_{q2} – удельные капитальные вложения, соответственно, в источник тепловой энергии (котельную) и в тепловую сеть; S_1 , S_2 – средние за срок службы системы себестоимости, соответственно, выработки и транспортирования тепловой энергии.

Как отмечается в [13], с ростом мощности системы теплоснабжения (площади F_j обслуживаемой ею территории) значение величины $\pi_{y_{a1}}$ уменьшается, а значение величины $\pi_{y_{a2}}$ растет.

Себестоимость тепловой энергии $S_{j,k}$, производимой отдельной системой теплоснабжения населенного пункта по i -тому варианту в k -том году, представляет собой, как известно, сумму удельных текущих затрат, обусловленных расходами топливно-энергетических, материальных, людских и финансовых ресурсов [14]:

$$S_1 = S_r + S_{s1} + S_{x0} + S_{s1} + S_{p1} + S_{a1} + S_{np1}; \quad S_{s1} = S_{эг} + S_{эв} + S_{эг}; \quad (14)$$

$$S_2 = S_{s2} + S_{s2} + S_{p2} + S_{a2} + S_{np2}, \quad (15)$$

где S_r , S_s , S_{x0} , S_s , S_p , S_a , S_{np} – статьи себестоимости тепловой энергии, обусловленные, соответственно, расходами топлива, электрической энергии и химически очищенной воды, заработной платой, ремонтом, амортизацией и прочими затратам материальных и финансовых ресурсов (например, затратами вспомогательных материалов, налогами); $S_{эг}$, $S_{эв}$, $S_{эг}$ – составляющие статьи себестоимости выработки тепловой энергии, обусловленной расходом электрической энергии, соответственно, на подачу топлива и воздуха к котельным установкам, а также на перемещение продуктов сгорания (газов) по их дымовому тракту; S_{s2} – статья

себестоимости транспортирования тепловой энергии, обусловленная расходом электрической энергии на циркуляцию теплоносителя.

Анализ статьи себестоимости транспортирования тепловой энергии S_{22} проводится применительно к циркуляционному кольцу 2 системы теплоснабжения. Согласно [8-11], второе циркуляционное кольцо ($k=2$; здесь k – номер кольца) включает в себя водяной тракт котла, трубопроводы тепловой сети и замыкается или на один из каналов наиболее удаленного теплообменника или на контур наиболее удаленной системы отопления, подключенной по зависимой схеме. Отмеченное кольцо представляет собой расчетный контур тепловой сети.

Статьи себестоимости тепловой энергии в выражениях (14) и (15) определяются известным образом. Чтобы иметь возможность проанализировать степень влияния отдельных факторов на эффективность процессов выработки и транспортирования тепловой энергии, расчетные формулы для определения статей ее себестоимости записываются в развернутом виде.

Принимая во внимание, что $C_T = \Pi_{\text{тн}} G_{T(t)}$, $G_{T(t)} = (3600\beta Q_{\text{н}}) / (Q_{\text{н}} \eta_{\text{кы}})$, а также выражение (5), статья себестоимости S_T раскрывается:

$$S_T = C_T / Q_{\text{н}} = a_T (\beta / \eta_{\text{кы}}), \quad (16)$$

где C_T – статья текущих затрат, обусловленная расходом топлива в котельной установке, руб/год; $\Pi_{\text{тн}}$, $G_{T(t)}$, $Q_{\text{н}}$ – соответственно, цена (руб/кг), годовой расход (кг/год) и низшая теплота сгорания (кДж/кг) топлива; $\eta_{\text{кы}}$ – КПД котельной установки; $a_T = 3600 \Pi_{\text{тн}} / Q_{\text{н}}$.

Анализ выражения (16) показывает, что величина S_T находится в прямо пропорциональной зависимости от коэффициента « β » и в обратно пропорциональной зависимости от коэффициента $\eta_{\text{кы}}$. Т.е. экономия топлива, обусловленная ростом значений КПД котельных установок при повышении уровня централизации теплоснабжения, нейтрализуется потерями тепловой энергии в тепловых сетях.

Принимая во внимание известные выражения:

$$C_{\text{эм}} = \Pi_{\text{в}} V_{\text{эм}}; \quad V_{\text{эм}} = z N_{\text{м}}; \quad N_{\text{м}} = 10^{-3} g G_{\text{м}} H_{\text{м}} / \eta_{\text{м}}; \quad G_{\text{м}} = \rho_{\text{м}} v_{0\text{м}} f_{10\text{м}}; \\ H_{\text{м}} = \sum h_{\text{ш}} = R_{\text{цм}} (v_{0\text{м}}^2 / (2g)),$$

после соответствующих преобразований имеем:

$$C_{\text{эм}} = a_{\text{эм}}^* z G_{\text{м}}^3, \quad (17)$$

где $m=T, v, g, 2$; индексы означают, соответственно, топливо, воздух, продукты сгорания (газы), теплоноситель (горячая вода); $C_{\text{э1}}$, $C_{\text{эв}}$, $C_{\text{э1}}$, $C_{\text{э2}}$ – статьи текущих затрат, обусловленных расходом электрической энергии, соответственно, на подачу топлива и воздуха к котельным установкам, на перемещение по их дымовому

тракту продуктов сгорания (газов), на циркуляцию теплоносителя по кольцу, руб/год; $\Pi_{\text{э}}$ – цена электрической энергии, руб/(кВт ч); $V_{\text{эм}}$ – расход электрической энергии, (кВт ч)/год; N_m, G_m, H_m, η_m – соответственно, полезная мощность (кВт), подача (кг/с), напор (м) и коэффициент полезного действия нагнетательной машины (насоса, вентилятора, дымососа); h_{mi} – полные потери напора на i -том участке того или иного тракта котла (дымового, топливного, воздушного) или циркуляционного кольца, м; $R_{\text{им}} = \sum R_i$; $R_i = (\lambda_i(l_i/d_{i1}) + \sum \zeta_j)(f_{10}/f_{1i})^2$; λ_i – коэффициент сопротивления трения; ζ_j – коэффициент местного сопротивления; l_i, d_{i1} – соответственно, длина и внутренний диаметр канала (трубопровода) на i -том участке, м; j – номер местного сопротивления на i -том участке; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_m – средняя по тракту (кольцу) плотность среды (топлива, воздуха, продуктов сгорания, горячей воды), кг/м³; f_{1im}, v_{1im} и f_{10m}, v_{10m} – площадь (м²) внутреннего сечения канала (трубопровода) и скорость (м/с) движения среды, соответственно, на i -том и на характерном участках того или иного тракта котельной установки или кольца;

$$a_{\text{эм}}^* = (10^{-3} \Pi_{\text{э}} R_{\text{им}}) / (2 \eta_m \rho_m^2 f_{10m}^2).$$

Учитывая, что в выражениях (17):

$$G_{\text{Г}} = G_{\text{Г(Г)}} / (3600z) = (\beta Q_{\text{п}}) / (z Q_{\text{п}} \eta_{\text{кв}}); \quad G_{\text{В}} = \rho_{\text{В}} V_{\text{В}}^{\wedge} G_{\text{Г}}; \quad G_{\text{Г}} = \rho_{\text{Г}} V_{\text{Г}}^{\wedge} G_{\text{Г}};$$

$$G_{\text{2}} = \beta_{\text{Г}} G_{\text{п}}$$

и принимая во внимание формулу (7), получаем:

$$S_{\text{эГ}} = C_{\text{эГ}} / Q_{\text{п}} = a_{\text{эГ}} (\beta / \eta_{\text{кв}})^3 Q_{\text{п}}^2; \quad (18)$$

$$S_{\text{эВ}} = C_{\text{эВ}} / Q_{\text{п}} = a_{\text{эВ}} (\beta / \eta_{\text{кв}})^3 Q_{\text{п}}^2; \quad (19)$$

$$S_{\text{эГ}} = C_{\text{эГ}} / Q_{\text{п}} = a_{\text{эГ}} (\beta / \eta_{\text{кв}})^3 Q_{\text{п}}^2; \quad (20)$$

$$S_{\text{э2}} = C_{\text{э2}} / Q_{\text{п}} = a_{\text{э2}} \beta_{\text{Г}}^3 Q_{\text{п}}^2; \quad (21)$$

где $\rho_{\text{Г}}, \rho_{\text{В}}$ – плотность, соответственно, продуктов сгорания и воздуха, кг/м³; $V_{\text{Г}}^{\wedge}, V_{\text{В}}^{\wedge}$ – действительный объем, соответственно, продуктов сгорания и воздуха на входе в дымосос и вентилятор, нм³/кг (нм³/нм³);

$$a_{\text{эГ}} = a_{\text{эГ}}^* / (z^2 Q_{\text{п}}^3); \quad a_{\text{эВ}} = a_{\text{эВ}}^* (\rho_{\text{В}} V_{\text{В}}^{\wedge})^3 / (z^2 Q_{\text{п}}^3);$$

$$a_{\text{эГ}} = a_{\text{эГ}}^* (\rho_{\text{Г}} V_{\text{Г}}^{\wedge})^3 / (z^2 Q_{\text{п}}^3); \quad a_{\text{э2}} = a_{\text{э2}}^* / (z^2 c^3 \Delta t^3).$$

Себестоимость химически очищенной воды, используемой для восполнения утечек теплоносителя в тепловой сети, определяется:

$$S_{\text{хо}} = C_{\text{хо}} / Q_{\text{п}} = a_{\text{хо}} \beta_{\text{Г}}^*, \quad (22)$$

где $C_{\text{хо}}$ – статья текущих затрат на химическую очистку воды, руб/год; $a_{\text{хо}} = \Pi_{\text{хо}} / (\rho_{\text{хо}} z c \Delta t)$; $\Pi_{\text{хо}}$ – цена химически очищенной воды, руб/м³; $\rho_{\text{хо}}$ – плотность химически очищенной воды, кг/м³.

Статья себестоимости по заработной плате S_3 определяется известным образом [14]:

$$S_3 = C_3/Q_{II} = n_{II} \Phi_{cp}/Q_{II} = n_{II}^* \Phi_{cp}, \quad (23)$$

где C_3 – статья текущих затрат, обусловленная расходами на заработную плату, руб/год; n_{II} – численность персонала, чел; n_{II}^* – удельная численность персонала, чел/(кВт ч); $n_{II}^* = n_{II}/Q_{II}$; Φ_{cp} – средний годовой фонд оплаты труда одного работающего, руб/чел.

С ростом мощности системы теплоснабжения значение величины n_{II}^* обычно уменьшается [13]. При этом в первом приближении можно написать:

$$n_{II}^* = n_{II.o}^* \cdot k_n (F_j - F_o), \quad (24)$$

где $n_{II.o}^*$ – удельная численность персонала применительно к эталонной системе теплоснабжения, обслуживающей территорию площадью F_o ; k_n – коэффициент пропорциональности.

Затраты на замену физически и морально устаревшего оборудования в себестоимости тепловой энергии учитываются статьей на амортизацию S_a [14]:

$$S_{a1} = \alpha_1 K_{q1(o6)}; \quad S_{a2} = \alpha_2 K_{q2(o6)}, \quad (25)$$

где α_i – норма отчислений на амортизацию ($i=1, 2$); $K_{q1(o6)}$, $K_{q2(o6)}$ – удельные капитальные вложения в оборудование, соответственно, котельной и тепловой сети, руб/(кВт ч).

С ростом мощности системы теплоснабжения значение величины $K_{q1(o6)}$ обычно уменьшается, а значение величины $K_{q2(o6)}$ может увеличиваться. Повышение значения величины $K_{q2(o6)}$ вызвано тем, что с ростом мощности системы теплоснабжения усложняется конструктивное решение ее тепловой сети.

Затраты на ремонт оборудования в себестоимости тепловой энергии учитываются статьей S_p [14]:

$$S_{p1(o6)} = \varphi_1 K_{q1(o6)}; \quad S_{p2(o6)} = \varphi_2 K_{q2(o6)}, \quad (26)$$

где φ_i – норма отчислений на ремонт ($i=1, 2$);

Затраты на ремонт трубопроводов тепловой сети и их тепловой изоляции определяются следующим образом:

$$S_{p2(tp)} = k_{tp2} m_{tp2,p} / Q_{II} = k_{tp2} \beta_{pt}^* m_{tp2,p}^*; \quad (27)$$

$$S_{p2(ii)} = \Pi_{ii} V_{ii2,p} / Q_{II} = \Pi_{ii} \beta_{pi}^* V_{ii2,p}; \quad (28)$$

где k_{tp2} – удельные единовременные затраты по трубопроводам кольца (средняя сметная стоимость 1 кг трубопровода) с учетом монтажных работ, руб/кг; Π_{ii} – цена тепловой изоляции трубопроводов кольца с учетом монтажных работ, руб/м³; $m_{tp2,p}$, $m_{tp2,p}^*$ – масса трубопроводов кольца, соответственно, по проекту и спланированная на ремонт в рамках всего срока службы сети, кг; $V_{ii2,p}$, $V_{ii2,p}^*$ – объемный расход тепловой изоляции трубопроводов кольца, соответственно, по проекту и спланированный на ремонт в рамках всего срока службы сети, м³; β_{pt}^* , β_{pi}^* – доли, соответственно,

труб и их тепловой изоляции, запланированных для ремонта сети; $\beta_{pi}^* = m_{tp2,p}^* / m_{tp2,ii}^*$; $\beta_{pi}^* = V_{ii2,p}^* / V_{ii2,ii}^*$; $m_{tp2,ii}^*$ – удельный расход трубопроводов кольца по проекту, кг/(кВт ч); $m_{tp2,ii}^* = m_{tp2,ii}^* / Q_{ii}$; $V_{ii2,ii}^*$ – удельный объемный расход тепловой изоляции трубопроводов кольца по проекту, м³/(кВт.ч); $V_{ii2,ii}^* = V_{ii2,ii}^* / Q_{ii}$;

Как правило, относительный расход (доля) труб и тепловой изоляции на ремонт тепловых сетей увеличивается с ростом их протяженности, т.е. с ростом площади F_j территории, обслуживаемой системой теплоснабжения. Это связано с тем, что с ростом мощности системы теплоснабжения обычно увеличиваются значения расчетной температуры и давления теплоносителя и, естественно, ухудшаются условия эксплуатации трубопроводов тепловой сети. Принимая в первом приближении зависимость $\beta_{pi}^* = f(F_j)$ прямо пропорциональной, можно написать:

$$\beta_{pi}^* = \beta_{pi,o}^* + k_{\beta p} (F_j - F_o) \quad (i = \text{т, и}), \quad (29)$$

где $\beta_{pi,o}^*$, $\beta_{pi,i}^*$ – доли, соответственно, труб и их тепловой изоляции, запланированных для ремонта сети эталонной (стандартной) системы теплоснабжения (например, групповой системы теплоснабжения); $k_{\beta p}$ – коэффициент пропорциональности.

Кроме того, с ростом мощности системы теплоснабжения усложняется конструктивное решение ее тепловой сети и, естественно, увеличиваются значения удельных расходов труб $m_{tp2,ii}^*$ и их тепловой изоляции $V_{ii2,ii}^*$.

Решение задачи находится графическим путем. Для этого строится график зависимости $\pi_{yaj} = f(F_j)$ и по его минимуму определяется оптимальное значение величины F_j .

Литература

1. Соколов Е.Я. Развитие теплофикации в России // Теплоэнергетика. – 1993. - №12. – с. 2 - 7.
2. Яновский Ф.Б., Михайлова С.А. Энергетическая стратегия и развитие теплоснабжения России // Энергосбережение. – 2003. - №6. – с. 26 - 32.
3. Чистович С.А. Проблемы развития теплоснабжения в СССР // АВОК. – 1990. - №1. – С. 36-43.
4. Балуев Е.Д. Перспективы развития централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2001. - №11. – С. 50-54.
5. Хаванов П.А. Децентрализованное теплоснабжение – альтернатива или шаг назад // Материалы Международной

- научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции»: Сборник / Под общ. научн. ред. В.И. Прохорова, Ю.Я. Кувшинова, Л.М. Махова. – М.: МГСУ, 2005. – с. 222 - 226.
6. Некрасов А.С., Воронина С.А. Состояние и перспективы развития теплоснабжения в России // Энергосбережение. – 2004. - №3. – с. 22 - 30.
 7. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: Учеб. для вузов/Под ред. Зарубина В.С., Крищенко Д.П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 440 с.
 8. Горшенин В.П. Оптимизация параметров состояния продуктов сгорания в водогрейных котлах // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век: Материалы Третьей международной научно-практической интернет-конференции / ОрелГТУ. - Орел: Издательский Дом «Орлик», 2005. – С. 34-36.
 9. Горшенин В.П. Оптимизация скорости вынужденного движения теплоносителя в трубопроводах // Известия вузов. Строительство. – 2004. - №6. – С. 69-73.
 10. Горшенин В.П. Оптимизация параметров состояния греющего теплоносителя в рекуперативных теплообменниках // Известия вузов. Строительство. – 2006. - №3-4. – С. 69-73.
 11. Горшенин В.П. Оптимизация теплового режима зданий и сооружений // Известия вузов. Строительство. – 2005. - №3. – С. 71-77.
 12. Горшенин В.П. Технико-экономическое обоснование проектного системы централизованного теплоснабжения // Известия вузов. Строительство. – 2006. - №5. – С. 74-78.
 13. Мелентьев Л.А. Очерки истории отечественной энергетики (развитие научно-технической мысли). – М.: Наука, 1987. – 279 с.
 14. Экономика предприятий энергетического комплекса: Учебник для вузов / В.С. Самсонов, М.А. Вяткин. – М.: Высшая школа, 2001. - 416 с.

Авдюнин Е.Г., Горшенин В.П. Сергеев А.В.

Оптимизация параметров состояния продуктов сгорания в водогрейных котлах

Аннотация

В результате решения задачи разработан аналитический аппарат, обеспечивающий определение оптимальных параметров состояния продуктов сгорания в водогрейных котлах. В качестве критерия оптимальности при решении задачи принят минимум полных затрат на реализацию процесса нагрева воды.

Система теплоснабжения может быть представлена в виде единой системы, состоящей из двух и более последовательно взаимосвязанных циркуляционных колец [1, 2]. Принимая, что порядковый номер колец возрастает от источника теплоты к потребителю, в качестве первого циркуляционного кольца ($k=1$) рассматривается совокупность газоходов котельной установки (её дымовой тракт); оно замыкается на окружающую среду и обеспечивает нагрев продуктами сгорания теплоносителя (воды) при его движении по трубам водяного тракта котла. Соответственно, трубы водяного тракта котла представляют собой начало второго циркуляционного кольца ($k=2$).

При заданной мощности котла ($Q=\text{const}$) можно отметить следующее. Рост значения перепада температуры Δt_1 (энтальпии ΔI_1) продуктов сгорания ведет к снижению их расхода G_1 и, соответственно, к снижению текущих затрат $C_{\text{э}1}$, обусловленных расходом $V_{\text{э}1}$ электрической энергии на их перемещение по дымовому тракту котла. Кроме того, снижение расхода G_1 продуктов сгорания в котле ведет к снижению расходов топлива $V_{\text{т}}$ и воздуха $V_{\text{в}}$ и, соответственно, к уменьшению текущих затрат $C_{\text{э}11}$, $C_{\text{э}12}$, C_{11} , обусловленных расходами $V_{\text{э}11}$ и $V_{\text{э}12}$ электрической энергии на подачу топлива и воздуха в топку котла, а также расходом $V_{\text{т}}$ топлива. Однако, при этом растет площадь F_1 поверхности труб водяного тракта котла, т.е. растет металлоемкость котла и при этом увеличиваются капитальные вложения $K_{\text{н}1}$ в него.

С ростом скорости v_1 движения продуктов сгорания уменьшается площадь f_{11} живых сечений каналов, образующих дымовой тракт котла, и, соответственно, снижается его материалоемкость, а, следовательно, уменьшаются и капитальные

вложения $K_{\text{цп}}$ в него. Однако, при этом увеличиваются текущие затраты $C_{э1}$, обусловленные расходом $V_{эк}$ электрической энергии на перемещение продуктов сгорания по дымовому тракту котла.

Целью данного исследования является разработка аналитического метода расчета оптимальных значений параметров состояния продуктов сгорания в котле, при которых обеспечиваются наименьшие затраты материальных и энергетических ресурсов на нагрев воды.

Оптимальное значение перепада энтальпии ΔI_1 и скорости v_1 движения продуктов сгорания в котле может быть определено в результате решения соответствующей оптимизационной задачи. Формулировка и методика решения такого типа задач хорошо известны [3-7]. Главной особенностью решения таких задач является обоснование критерия оптимальности и затем адекватное его преобразование в целевую функцию.

Из анализа литературных источников следует, что решение рассматриваемой задачи проводилось на основе такого известного критерия эффективности как минимум приведенных затрат Π [4-7].

Наиболее адекватное решение рассматриваемой задачи будет наблюдаться при использовании в качестве критерия оптимальности минимума полных затрат π на реализацию процесса нагрева воды в котле. Величина π определяется следующим образом:

$$\pi_1 = K_1 + T_3 C_1, \text{ руб}, \quad (1)$$

где K_1 – капитальные вложения в котельную установку с учетом её транспортирования, монтажа, капитальных ремонтов, демонтажа и пр., руб; C_1 – ежегодные эксплуатационные (текущие) затраты, связанные с расходами топлива и электрической энергии на подачу топлива и воздуха, на удаление продуктов сгорания, руб/год.

Целесообразность использования минимума полных затрат в качестве критерия оптимальности при решении технико-экономических задач обоснована в [1, 2, 8, 9].

При этом можно отметить, что с использованием величин π и Π решаются две последовательно взаимосвязанные задачи. С помощью величины π обеспечивается выбор оптимального значения рассматриваемых параметров; с использованием же величины Π должна осуществляться экономическая оценка эффективности полученного решения путем сравнения его с базовым вариантом (или эталоном).

При движении продуктов сгорания по дымовому тракту ($k=1$) котельной установки их средний расход G_1 считается постоянным, а

меняется, соответственно, их скорость движения v_{i1} . В этом случае имеем:

$$G_1 = \rho_1 v_{i1} f_{i11} = \rho_1 v_{01} f_{101}; \quad (2)$$

$$v_{i1} = v_{01} (f_{101} / f_{i11}), \quad (3)$$

где

ρ_1 – средняя по дымовому тракту плотность продуктов сгорания, кг/м³;

f_{i11} , v_{i1} и f_{101} , v_{01} – площадь внутреннего (живого) сечения канала и скорость движения продуктов сгорания, соответственно, на i -том и на характерном участках дымового тракта котельной установки, м².

В рамках рассматриваемого циркуляционного кольца капитальные вложения в его отдельные элементы и текущие затраты по расходам отдельных энергетических ресурсов суммируются. Соответственно, отдельные члены правой части формулы (1) детализируются следующим образом:

$$K_1 = K_{n1} + K_{n1}, \quad (4)$$

$$C_1 = C_{\alpha 1} + C_{\beta 11} + C_{\beta 12} + C_{11}. \quad (5)$$

Если отдельные члены выражений (4)-(5) выразить через оптимизируемые параметры ΔI_1 и v_1 , то величина π по формуле (1) приобретает смысл целевой функции [3].

Капитальные вложения K_{n1} в нагревательный элемент (трубы водяного тракта) котла первоначально определяются:

$$K_{n1} = C_{\alpha 1} + K_{n1} = k_{n1} F_1, \quad (6)$$

где

$C_{\alpha 1}$ – стоимость дополнительных работ и услуг, руб; K_{n1} – единовременные затраты непосредственно по нагревательному элементу, руб; k_{n1} – полные удельные единовременные затраты по нагревательному элементу, руб/м²;

$$k_{n1} = r_{\alpha 1} c_{\alpha 1} + r_{n1} k_{n1}; \quad r_{\alpha 1} = m_{\tau 0} / F_1; \quad c_{\alpha 1} = C_{\alpha 1} / m_{\tau 0}; \quad r_{n1} = l_{\tau 0} / F_1; \quad k_{n1} = K_{n1} / l_{\tau 0};$$

$$c_{\alpha 1} \text{ – удельная стоимость дополнительных работ и услуг, руб/кг;}$$

k_{n1} – удельные единовременные затраты по нагревательному элементу (трубам) котла, руб/м;

$m_{\tau 0}$, $l_{\tau 0}$ – соответственно, масса (кг) и общая длина (м) труб, образующих нагревательный элемент;

Принимая во внимание известное уравнение теплового баланса котла:

$$Q_1 = G_1 \Delta I_1 = k_1 \theta_1 F_1, \quad (7)$$

можно написать:

$$K_{n1} = a_{111} \Delta I_1; \quad (8)$$

где

k_1 – коэффициент теплопередачи нагревательного элемента, Вт/(м²°C);

θ_1 – среднелогарифмический температурный напор между греющей и нагреваемой средами, °C; $a_{111} = k_{11} G_1 / (k_1 \theta_1)$.

Капитальные вложения $K_{ц1}$ в котельную установку (без учета нагревательных элементов) определяются следующим образом:

$$K_{ц1} = C_{дц1} + K_{об1} + K_{ат} = k_{ц1} \Sigma m_{кнi}, \quad (9)$$

где

$C_{дц1}$ – стоимость дополнительных работ и услуг, руб;

$K_{об1}$, $K_{ат}$ – капитальные вложения, соответственно, в оборудование и в дымовой тракт котла, руб;

$k_{ц1}$ – удельные единовременные затраты по котлу, руб/кг;

$$k_{ц1} = c_{дц1} + r_{об1} K_{об1} + k_{ат};$$

$c_{дц1}$ – удельная стоимость дополнительных работ и услуг, руб/кг; $c_{дц1} = C_{дц1} / \Sigma m_{кнi}$;

$$r_{об1} = m_{об1} / \Sigma m_{кнi};$$

$K_{об1}$, $K_{ат}$ – удельные единовременные затраты, соответственно, по оборудованию котла и по его дымовому тракту, руб/кг;

$$k_{об1} = K_{об1} / m_{об1}; \quad k_{ат} = K_{ат} / \Sigma m_{кнi};$$

$m_{об1}$ – масса оборудования котла, кг;

$m_{кнi}$ – масса i -того канала дымового тракта котла, кг; индексы тк, пшх, гх, тд – соответственно, означают: топка, конвективная шахта, газоход, дымовая труба; $\Sigma m_{кнi} = m_{ат}$;

$m_{ат}$ – масса дымового тракта котла.

Чтобы иметь возможность преобразовать выражение (9) к зависимости вида $K_{ц1} = f(v_1)$, представим вначале массу m_i отдельных элементов дымового тракта котельной установки как функцию от площади f_{1i} их внутренних сечений для прохода продуктов сгорания. Применительно к каналу круглого сечения на i -том участке дымового тракта имеем:

$$m_{кнi} = \beta_{кнi} f_{1i}, \quad (10)$$

где $\beta_{кнi} = \rho_m l_i (\beta_{дi}^2 - 1)$; $\beta_{дi}^2 = f_{2i} / f_{1i} = (d_{2i} / d_{1i})^2 = (1 + 2\delta_i / d_{1i})^2$; ρ_m – плотность материала стенок канала, кг/м³; f_{2i} – площадь наружного сечения канала, м²; d_{1i} , d_{2i} , l_i , δ_i – соответственно, внутренний и наружный диаметр, длина и толщина стенки канала, м;

Применительно к каналу прямоугольного сечения (например, к газоходу топки или конвективной шахты котла) коэффициент $\beta_{кнi}$ записывается:

$$\beta_{кнi} = \rho_m l_i (\beta_{дi} \beta_{бi} - 1), \quad (11)$$

где $\beta_{ai}=a_{2i}/a_{1i}=1+2\delta_i/a_{1i}$; $\beta_{bi}=b_{2i}/b_{1i}=1+2\delta_i/b_{1i}$; $f_{1i}=a_{1i}b_{1i}$; $f_{2i}=a_{2i}b_{2i}$; $a_{2i}=a_{1i}+2\delta_i$; $b_{2i}=b_{1i}+2\delta_i$; a_{1i} , b_{1i} ; a_{2i} , b_{2i} – стороны, соответственно, внутреннего и наружного сечения канала, м.

Принимая во внимание соотношение (2), величину f_{1i} в выражении (10) раскрываем следующим образом:

$$f_{1i}=(G_1/(\rho_1\beta_{mii}))v_{i1}^{-1}, \quad (12)$$

где β_{mii} – поправка, учитывающая уменьшение площади живого сечения канала при размещении в нем трубок и вводимая при межтрубном движении теплоносителя; $\beta_{mii}=1-(n_{tp}d_2/f_{1i})$ ($n_{tp}=0$; $\beta_{mii}=1$); d_2 , n_{tp} – соответственно, наружный диаметр трубок (м) и их количество в сечении на его стороне a_1 ; $a_1=(n_{tp}+1)s_{tp}$; s_{tp} – шаг трубок, м.

С учетом соотношений (12) и (10) выражение (9) окончательно записываются следующим образом:

$$K_{п1}=a_{121}v_{01}^{-1}, \quad (13)$$

где $a_{121}=(\kappa_{п1}G_1/\rho_1)\Sigma((\beta_{kii}/\beta_{mii})(f_{1i}/f_{10}))$; (далее нижний индекс «0» при величине v_{01} опускается).

Принимая во внимание соотношения (8) и (13), выражения (4) для определения общих капитальных вложений K_1 в котельную установку окончательно записывается следующим образом:

$$K_1=a_{111}\Delta I_1+a_{121}v_{11}^{-1}. \quad (14)$$

Чтобы представить отдельные члены выражения (5) в виде функций от оптимизируемых параметров, необходимо привлечь известные уравнения и соотношения из гидравлики. Так, текущие затраты, обусловленные расходом электрической энергии на перемещение продуктов сгорания, а также на подачу топлива и воздуха в топку котла, определяются известным образом:

$$C_{эм}=\Pi_эV_{эk}, \quad (15)$$

где $\Pi_э$ – цена электрической энергии, руб/(Вт ч); $V_{эk}$ – расход электрической энергии на перемещение дымососом продуктов сгорания, насосом мазута, вентилятором воздуха, (Вт ч)/год; $k=1, 11, 12$; индексы: 1, 11, 12 – означают, соответственно, продукты сгорания, топливо, воздух.

Принимая во внимание, что:

$$V_{эk}=24z_{оп}N_k \quad (16)$$

и учитывая известные соотношения из гидравлики:

$$N_k=gG_kH_k/\eta_k; \quad H_k=\Sigma h_{тi}=R_{тk}(v_{0k}^2/2g), \quad (17)$$

выражение (15) представляется:

$$C_{эk}=a_{01k}G_kv_{0k}^2, \quad (18)$$

где

$z_{\text{оит}}$ – продолжительность отопительного периода, сут; N_k, G_k, H_k, η_k – соответственно, полезная мощность (Вт), подача (кг/с), напор (м) и коэффициент полезного действия дымососа (насоса, вентилятора); g – ускорение свободного падения, м/с²; $h_{\text{ит}}$ – полные потери напора на i -том участке того или иного тракта котла (дымового, топливного, воздушного), м;

$$R_{\text{итк}} = \sum R_i; R_i = (\lambda_i(l_i/d_{i1}) + \sum \zeta_j) ((f_{10}/f_{i1})^2);$$

i, n – номер участка и их количество в том или ином тракте котла ($i=1, 2, \dots, n$); j, m – номер и количество местных сопротивлений на i -том участке того или иного тракта котла ($j=1, 2, \dots, m$); λ_i – коэффициент сопротивления трения; ζ_j – коэффициент местного сопротивления; $a_{01k} = 12z_{\text{оит}} R_{\text{итк}} \Pi_{\text{в}} / \eta_k$.

Выразив из уравнения теплового баланса котла:

$$G_1 \Delta I_1 = G_2 \Delta I_2 \tag{19}$$

величину G_1 и подставив его в выражение (18), имеем ($m=1$):

$$T_{\text{в}} C_{\text{в1}} = a_{211} \Delta I_1^{-1} V_1^2, \tag{20}$$

где $G_2, \Delta I_2$ – соответственно, расход и перепад энтальпии теплоносителя, циркулирующего через котел, кг/с; $a_{211} = T_{\text{в}} a_{011} G_2 \Delta I_2$.

Применительно к текущим затратам $C_{\text{в11}}$ и $C_{\text{в12}}$, обусловленным расходом электрической энергии на подачу топлива и воздуха в топку котла, выражение (18) с учетом соотношения (2) преобразуется к виду:

$$C_{\text{в11}} = a_{0111}^* B^3; \tag{21}$$

$$C_{\text{в12}} = a_{0112}^* B_{\text{в}}^3, \tag{22}$$

где $a_{01k}^* = a_{01k} / (Q_k f_{10})^2$; Q_k – плотность, кг/м³; $B, B_{\text{в}}$ – расход, соответственно, топлива и воздуха, кг/с.

Принимая во внимание уравнение (19) и учитывая что:

$$G_1 = Q_1 V_{\text{г}}^{\text{А}} B; B_{\text{в}} = Q_{12} V_{\text{в}}^{\text{А}} B, \tag{23}$$

имеем:

$$B = a_1 \Delta I_1^{-1}; B_{\text{в}} = a_2 \Delta I_1^{-1}; \tag{24}$$

где

Q_1, Q_{12} – средняя плотность, соответственно, продуктов сгорания и воздуха, кг/м³; $V_{\text{г}}^{\text{А}}, V_{\text{в}}^{\text{А}}$ – действительный объем, соответственно, продуктов сгорания и воздуха на входе в дымосос и вентилятор, нм³/кг (нм³/нм³);

$$a_1 = G_2 \Delta I_2 / (Q_1 V_{\text{г}}^{\text{А}}); a_2 = (Q_2 V_{\text{в}}^{\text{А}} / (Q_1 V_{\text{г}}^{\text{А}})) G_2 \Delta I_2.$$

С учетом выражений (21), (22) и (24) имеем:

$$T_{\text{в}} C_{\text{в11}} = a_{2121} \Delta I_1^{-3}; \tag{25}$$

$$T_{\text{в}} C_{\text{в12}} = a_{2141} \Delta I_1^{-3}, \tag{26}$$

где

$$a_{2121} = a_{0111}^* a_1^3; a_{2141} = a_{0112}^* a_2^3.$$

Текущие затраты C_{11} , обусловленные расходом топлива V_r , составляют:

$$C_{11} = \Pi_{\text{тп}} V_r; \quad (27)$$

$$V_r = 3600 n_{\text{ч}} V, \quad (28)$$

где $\Pi_{\text{тп}}$ – цена топлива, руб/кг; $n_{\text{ч}} = 24 z_{\text{оп}}$

С учетом выражений (24), (28) и (27) имеем:

$$T_3 C_{11} = a_{221} \Delta I_1^{-1}, \quad (29)$$

где

$$a_{221} = 3600 a_1 n_{\text{ч}} \Pi_{\text{тп}} T_3.$$

С учетом полученных соотношений (20), (25), (26) и (29) выражение (5), определяющее суммарные текущие затраты по котельной установке, принимает вид:

$$T_3 C_1 = a_{211} \Delta I_1^{-1} v_1^2 + a_{21s1} \Delta I_1^{-3} + a_{221} \Delta I_1^{-1}, \quad (30)$$

где

$$a_{21s1} = a_{2121} + a_{2141}.$$

Принимая во внимание соотношения (14) и (30), целевая функция записывается в виде следующего выражения:

$$\pi_1 = a_{111} \Delta I_1 + a_{121} v_1^{-1} + a_{211} \Delta I_1^{-1} v_1^2 + a_{21s1} \Delta I_1^{-3} + a_{221} \Delta I_1^{-1}. \quad (31)$$

Продифференцировав целевую функцию π_1 по всем её аргументам:

$$\partial \pi_1 / \partial (\Delta I_1) = 0; \quad \partial \pi_1 / \partial v_1 = 0, \quad (32)$$

получаем систему из двух алгебраических уравнений:

$$a_{111} \Delta I_1^4 - a_{211} \Delta I_1^2 v_1^2 - a_{221} \Delta I_1^2 - 3 a_{21s1} = 0; \quad (33)$$

$$2 a_{211} v_1^3 - a_{121} \Delta I_1 = 0. \quad (34)$$

Решение системы уравнений (33) и (34) позволяет определить оптимальные значения оптимизируемых параметров $\Delta I_1, v_1$.

Литература

1. Горшенин В.П. Оптимизация теплового режима зданий и сооружений//Известия вузов. Строительство. – 2005. - № 3 – С. 71 - 73 .
2. Горшенин В.П. Оптимизация параметров состояния греющего теплоносителя в рекуперативных теплообменниках//Известия вузов. Строительство. – 2006. - № 3/4 – С. 71-74 .
3. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: Учеб. для вузов/под ред. Зарубина В.С., Крищенко Д.П. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 440 с.
4. Попырин Л.С. Математическое моделирование и

оптимизация теплоэнергетических установок. - М.: Энергия, 1978. - 416 с.

5. Оптимизация теплообменных процессов и систем/В.В.Кафаров, В.П.Мешалкин, А.В.Гурьев. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 191 с.

6. Теплоснабжение: Учеб. пособие для студентов вузов/В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков, И.Б. Пронина, В.А. Слемзин.– М.: Высш. шк., 1980.–406.

7. Богуславский А.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции/2-е изд., перераб. и доп.-М.: Стройиздат, 1985. – 336 с.

8. Горшенин В.П. Совершенствование метода оптимизации толщины непрозрачных элементов ограждения зданий и сооружений//Строительные материалы. – 2003. - №11. – С. 52-54.

9. Горшенин В.П. Оптимизация скорости вынужденного движения теплоносителя в трубопроводах//Известия вузов. Строительство.–2004.–№6.–С.69-73.

Авдюнин Е.Г., Коновалов А.В., Горшенин В.П.

Обоснование метода оптимизации параметров состояния теплоносителя в тепловых сетях

Аннотация

Обоснован метод оптимизации параметров состояния теплоносителя в тепловых сетях. Его обоснование проводится путем постановки и решения оптимизационной задачи. В качестве критерия оптимальности в задаче принят минимум полных затрат на транспортирование тепловой энергии. Оптимизируемые параметры – перепад энтальпии и скорость движения теплоносителя.

При централизованном теплоснабжении потребителей стоимость тепловой энергии в значительной мере определяется уровнем затрат, обусловленных транспортированием теплоносителя. Процесс транспортирования теплоносителя от котельной к потребителям и обратно осуществляется, как известно, с помощью тепловой сети и на его реализацию затрачиваются металл, теплоизоляционные и другие материалы, а также электрическая энергия.

В свою очередь, затраты, связанные с транспортированием теплоносителя, зависят от мощности системы теплоснабжения и принятого значения параметров его состояния.

С ростом мощности системы теплоснабжения увеличиваются протяженность и разветвленность тепловой сети и, соответственно, возрастают потери тепловой энергии при транспортировании теплоносителя. Как отмечается в [1,2], в тепловых сетях систем централизованного теплоснабжения теряется свыше 30 % производимой тепловой энергии.

Задача, связанная с обоснованием мощности системы теплоснабжения, решена в [3].

Цель данного исследования – обоснование метода оптимизации параметров состояния теплоносителя, при которых обеспечиваются минимальные затраты материальных и энергетических ресурсов на реализацию процесса его транспортирования.

Достижение поставленной цели осуществляется путем постановки и решения соответствующей оптимизационной задачи.

Постановка отмеченной задачи проводится применительно к циркуляционному кольцу 2 системы теплоснабжения. Согласно [4, 5], второе циркуляционное кольцо ($k=2$; здесь k – номер кольца) включает в себя водяной тракт котла, трубопроводы тепловой сети и замыкается или на один из каналов наиболее удаленного теплообменника или на контур наиболее удаленной системы отопления, подключенной по зависимой схеме. Отмеченное кольцо представляет собой расчетный контур тепловой сети.

В рамках поставленной задачи оптимизируемыми параметрами являются скорость движения v_2 и перепад энтальпии ΔI_2 теплоносителя. При этом анализ зависимости затрат материальных и энергетических ресурсов на реализацию процесса транспортирования теплоносителя от величин v_2 и ΔI_2 представляется возможным осуществить с использованием известных уравнений:

$$G_2 = \rho v_2 f_{112}; \quad (1)$$

$$Q_2 = c G_2 (t_r^* - t_o^*) = c G_2 \Delta t_2 = G_2 \Delta I_2; \quad (2)$$

$$B_{32} = z N_2 = 10^{-3} z g G_2 H_2 / \eta_2, \quad (3)$$

где ρ , v_2 – соответственно, плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ и скорость движения ($\text{м}/\text{с}$) теплоносителя в циркуляционном кольце; f_{112} – площадь внутреннего сечения трубопровода на первом участке циркуляционного кольца, м^2 ; Q_2 – тепловой поток, переносимый теплоносителем, кВт ; c , G_2 – соответственно, массовая теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \text{ } ^\circ\text{C})$ и расход, $\text{кг}/\text{с}$ теплоносителя, поступающего из котельной в подающую магистраль тепловой сети; t_r^* , t_o^* – температуры теплоносителя, соответственно, на входе в подающую и на выходе из обратной магистрали тепловой сети, $^\circ\text{C}$; Δt_2 , ΔI_2 – перепад, соответственно, температуры, $^\circ\text{C}$ и энтальпии, $\text{кДж}/\text{кг}$ теплоносителя в тепловой сети; B_{32} – расход электроэнергии на перемещение насосом теплоносителя по циркуляционному кольцу, $(\text{кВт}\cdot\text{ч})/\text{год}$; z – годового фонда рабочего времени системы теплоснабжения, час; N_2 , G_2 , H_2 , η_2 – соответственно, полезная мощность (кВт), подача ($\text{кг}/\text{с}$), напор (м) и коэффициент полезного действия насоса;

$$H_2 = \sum h_{ii} = R_{i2} (v_2^2 / (2g)); \quad (4)$$

h_{ii} – полные потери напора на i -том участке циркуляционного кольца, м ;

$$R_{i2} = \sum R_i; \quad R_i = \lambda_i (l_i / d_{i1}) + \sum \zeta_j;$$

i, n – номер участка и их количество в циркуляционном кольце ($i=1, 2, \dots, n$);

j, m – номер и количество местных сопротивлений на i -том участке ($j=1, 2, \dots, m$);

λ_i – коэффициент сопротивления трения; ζ_j – коэффициент местного сопротивления; l_i, d_{i1} – соответственно, длина и внутренний диаметр трубопровода на i -том участке, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Значение величины ΔI_2 может изменяться в результате варьирования значения как температуры t_r^* , так и температуры t_o^* .

Однако, при решении поставленной задачи определение оптимального значения величины ΔI_2 проводится при условии, что значение температуры t_o^* известно. Таким образом, по сути оптимизируется значение температуры t_r^* теплоносителя в подающей магистрали тепловой сети.

Значение температуры t_o^* теплоносителя в обратной магистрали тепловой сети находится в результате оптимизации перепада энтальпии ΔI_3 теплоносителя в системах водяного отопления, зависимо подсоединенных к тепловой сети и перепада энтальпии ΔI_4 греющего теплоносителя в водоводяных теплообменниках, обеспечивающих независимое подсоединение систем водяного отопления [4, 5]. Соответственно, имеем:

$$\Delta I_3 = c(t_1 - t_o); \quad \Delta I_4 = c(t_r - t_o), \quad (5)$$

где t_1 – температура теплоносителя в подающей магистрали системы водяного отопления, °С; обычно $t_1 \leq 95$ °С; t_r – температура греющего теплоносителя на входе в водоводяной теплообменник (на входе в ИТП потребителей), °С; $t_r = t_r^* - \Delta t_r$; t_o – температура теплоносителя после потребителей (систем водяного отопления и теплообменников), °С; $t_o = \Delta t_o + t_o^*$; $\Delta t_r, \Delta t_o$ – падение температуры по длине трубопроводов тепловой сети, соответственно, от котельной до потребителей и после потребителей до котельной, °С.

При заданной мощности системы теплоснабжения ($Q_2 = \text{const}$) с ростом значения перепада энтальпии ΔI_2 теплоносителя снижается его расход G_2 в тепловой сети и затраты B_{32} электрической энергии на его перемещение, при этом чем меньше расход G_2 теплоносителя и фиксированном значении его скорости v_2 движения, тем меньше площадь f_{12} сечения трубопроводов, т.е. металлоемкость тепловой сети.

Чтобы обеспечить повышение температуры воды необходимо повышать её давление, при этом растут его утечки, требуются более прочные и дорогие трубы и более мощные циркуляционные

насосы. Кроме того, как отмечается в [6, 7], с ростом значения температуры и давления теплоносителя растут напряжения в металле труб и повышается интенсивность их коррозии, что сокращает срок службы тепловой сети.

Чем больше скорость v_2 движения теплоносителя при заданном его расходе G_2 , тем меньше площадь f_{1i2} сечения труб и, соответственно, материалоемкость тепловой сети. Однако, это приводит к увеличению затрат V_{32} электроэнергии.

Принимается, что скорость v_2 движения теплоносителя по второму кольцу на всех его участках имеет одно и тоже значение.

Решение поставленной задачи проводится с использованием в качестве критерия оптимальности минимума полных затрат π на реализацию процесса движения теплоносителя. Величина π применительно ко второму циркуляционному кольцу записывается следующим образом [8]:

$$\pi_2 = K_2 + T_3 C_2, \text{ руб}, \quad (6)$$

где K_2 – капитальные вложения в отдельные элементы циркуляционного кольца, руб; C_2 – текущие затраты, связанные с организацией процесса циркуляции теплоносителя, руб/год; T_3 – срок службы тепловой сети, год.

Отдельные члены правой части формулы (6) детализируются известным образом:

$$K_2 = C_{\text{ин2}} + K_{\text{об2}} + K_{\text{тр2}} + K_{\text{ин2}}; \quad (7)$$

$$T_3 C_2 = T_3 (C_{32} + C_{32} + C_{p2} + C_{a2} + C_{\text{пр2}}) \quad (8)$$

где $C_{\text{ин2}}$ – стоимость дополнительных работ и услуг, руб; $K_{\text{об2}}$, $K_{\text{тр2}}$ – капитальные вложения, соответственно, в оборудование и трубопроводы кольца, руб; $K_{\text{ин2}}$ – капитальные вложения в тепловую изоляцию трубопроводов, руб; C_{32} , C_{32} , C_{p2} , C_{a2} , $C_{\text{пр2}}$ – статьи текущих затрат, обусловленные, соответственно, расходом электрической энергии на циркуляцию теплоносителя, заработной платой, ремонтом, амортизацией и прочими расходами материальных и финансовых ресурсов (например, вспомогательных материалов, выплатами некоторых видов налогов), руб/год.

Выражение (7) записано в предположении, что замыкающим элементом второго циркуляционного кольца является система водяного отопления, подключенная к тепловой сети по зависимой схеме.

Если отдельные члены выражений (7) и (8) выразить через оптимизируемые параметры ΔI_2 и v_2 , то величина π_2 по формуле (6) приобретает смысл целевой функции [9].

Вполне очевидно, что значения величин $C_{\text{лт2}}$ и $K_{\text{об2}}$ в выражении (7) увеличиваются с ростом начальной температуры t_t^* теплоносителя. Принимая в первом приближении зависимости $C_{\text{лт2}}=f(\Delta I_2)$ и $K_{\text{об2}}=f(\Delta I_2)$ прямо пропорциональными, имеем:

$$C_{\text{лт2}}=C_{\text{лт2,э}}+k_{\text{лт2}}(\Delta I_2-\Delta I_{2,э}); \quad (9)$$

$$K_{\text{об2}}=K_{\text{об2,э}}+k_{\text{об2}}(\Delta I_2-\Delta I_{2,э}), \quad (10)$$

где $C_{\text{лт2,э}}$, $K_{\text{об2,э}}$ - стоимость дополнительных работ и услуг, а также капитальные вложения в оборудование, рассматриваемые применительно к базовому (эталонному) варианту тепловой сети; в качестве базового варианта рассматривается тепловая сеть, спроектированная на минимальное значение начальной температуры t_t^* теплоносителя (например, $t_{t,\text{min}}^*=95$ °C); $k_{\text{лт2}}$, $k_{\text{об2}}$ - коэффициенты пропорциональности.

Величины $K_{\text{тр2}}$ и $K_{\text{н2}}$ в выражении (7) раскрываются следующим образом:

$$K_{\text{тр2}}=k_{\text{тр2}}m_{\text{тр2}}=k_{\text{тр2}}(m_{\text{тр2,н}}+m_{\text{тр2,р}})=k_{\text{тр2}}(1+\beta_{\text{рт}}^*)m_{\text{тр2,н}}=k_{\text{тр2}}\beta_{\text{рт}}m_{\text{тр2,н}}; \quad (11)$$

$$K_{\text{н2}}=\Pi_{\text{н}}V_{\text{н2}}=\Pi_{\text{н}}(V_{\text{н2,н}}+V_{\text{н2,р}})=\Pi_{\text{н}}(1+\beta_{\text{рн}}^*)V_{\text{н2,н}}=\Pi_{\text{н}}\beta_{\text{рн}}V_{\text{н2,н}}, \quad (12)$$

где $k_{\text{тр2}}$ - удельные единовременные затраты по трубопроводам (средняя сметная стоимость 1 кг трубопровода) с учетом монтажных работ, руб/кг; $\Pi_{\text{н}}$ - цена тепловой изоляции трубопроводов с учетом монтажных работ, руб/м³; $m_{\text{тр2}}$, $m_{\text{тр2,н}}$, $m_{\text{тр2,р}}$ - масса трубопроводов, соответственно, суммарная (за весь срок службы сети), по проекту и спланированная на ремонт в процессе эксплуатации сети, кг; $V_{\text{н2}}$, $V_{\text{н2,н}}$, $V_{\text{н2,р}}$ - объемный расход тепловой изоляции трубопроводов, соответственно, суммарный (за весь срок службы сети), по проекту и спланированный на ремонт в процессе эксплуатации сети, м³; $\beta_{\text{рт}}^*$, $\beta_{\text{рн}}^*$ - доли, соответственно, труб и их тепловой изоляции, запланированных для ремонта сети;

$$\beta_{\text{рт}}^*=m_{\text{тр2,р}}/m_{\text{тр2,н}}; \beta_{\text{рн}}^*=V_{\text{н2,р}}/V_{\text{н2,н}};$$

$\beta_{\text{рт}}$, $\beta_{\text{рн}}$ - коэффициенты, учитывающие дополнительные затраты труб и их тепловой изоляции на ремонтные работы; $\beta_{\text{рт}}=1+\beta_{\text{рт}}^*$; $\beta_{\text{рн}}=1+\beta_{\text{рн}}^*$.

Чтобы иметь возможность выразить величины $K_{\text{тр2}}$ и $K_{\text{н2}}$ по выражениям (11) и (12) через оптимизируемые параметры ΔI_2 и v_2 , представим массу $m_{\text{тр2,н}}$ труб и объем $V_{\text{н2,н}}$ их тепловой изоляции как функции от площади f_{1i} внутренних сечений труб. При этом, решая совместно уравнения (1) и (2) применительно к i -тому участку кольца, имеем:

$$f_{1i}=(Q_{i2}/\rho)\Delta I_2^{-1}v_2^{-1}, \quad (13)$$

Тогда можно написать:

$$m_{\text{тр2,н}}=\sum(\beta_{\text{рт}i}f_{1i})=((\sum\beta_{\text{рт}i}Q_{i2})/\rho)\Delta I_2^{-1}v_2^{-1}; \quad (14)$$

$$V_{н2.п} = \sum(\beta_{ин} f_{и1}) = ((\sum \beta_{ин} Q_{и2}) / \rho) \Delta I_2^{-1} v_2^{-1}, \tag{15}$$

где $\beta_{тp1} = \rho_m l_1 (\beta_{д1}^2 - 1)$; $\beta_{д1}^2 = f_{21} / f_{11} = (d_{21} / d_{11})^2 = (1 + 2\delta_1 / d_{11})^2$; ρ_m – плотность металла труб, кг/м³; f_{11} , f_{21} – площадь, соответственно, внутреннего и наружного сечений трубопровода, м²; d_{11} , d_{21} , l_1 , δ_1 – соответственно, внутренний и наружный диаметр, длина и толщина стенки трубопровода, м; $\beta_{ин} = l_1 (\beta_{нд1}^2 - 1) \beta_{д1}^2$; $\beta_{нд1}^2 = f_{и1} / f_{21} = (d_{и1} / d_{21})^2 = (1 + 2\delta_{и1} / d_{21})^2$; $f_{и1}$, $d_{и1}$, $\delta_{и1}$ – соответственно, площадь наружного сечения (м²), наружный диаметр и толщина (м) слоя тепловой изоляции.

Принимаем, что масса $m_{тp2.п}$ труб и расход $V_{н2.п}$ их тепловой изоляции на ремонт растут в первом приближении прямо пропорционально с увеличением значения начальной температуры t_1^* теплоносителя. Тогда применительно к коэффициентам $\beta_{рт}$ и $\beta_{рп}$ в выражениях (11) и (12) можно написать:

$$\beta_{рт} = \beta_{рт.э} + k_{рт} (\Delta I_2 - \Delta I_{2.э}) = \beta_{тэ} + k_{рт} \Delta I_2; \tag{16}$$

$$\beta_{рп} = \beta_{рп.э} + k_{рп} (\Delta I_2 - \Delta I_{2.э}) = \beta_{нэ} + k_{рп} \Delta I_2, \tag{17}$$

где $\beta_{рт.э}$, $\beta_{рп.э}$ – коэффициенты, рассматриваемые применительно к базовому (эталонному) варианту тепловой сети; $k_{рт}$, $k_{рп}$ – коэффициенты пропорциональности; $\beta_{тэ} = \beta_{рт.э} - k_{рт} \Delta I_{2.э}$; $\beta_{нэ} = \beta_{рп.э} - k_{рп} \Delta I_{2.э}$.

Принимая во внимание соотношения (14), (15) и (16), (17), величины $K_{тp2}$ и $K_{н2}$ по выражениям (11) и (12) окончательно представляются следующим образом:

$$K_{тp2} = a_{тp2} \Delta I_2^{-1} v_2^{-1} + b_{тp2} v_2^{-1}; \tag{18}$$

$$K_{н2} = a_{н2} \Delta I_2^{-1} v_2^{-1} + b_{н2} v_2^{-1}, \tag{19}$$

где $a_{тp2} = k_{тp2} \beta_{тэ} ((\sum \beta_{тp1} Q_{и2}) / \rho)$; $b_{тp2} = k_{тp2} k_{рт} ((\sum \beta_{тp1} Q_{и2}) / \rho)$;

$$a_{н2} = \Pi_{ин} \beta_{нэ} ((\sum \beta_{и1} Q_{и2}) / \rho); \quad b_{н2} = \Pi_{ин} k_{рп} ((\sum \beta_{и1} Q_{и2}) / \rho).$$

Отдельные члены правой части выражения (8) определяются известным образом [10]. Определение статьи текущих затрат C_{32} осуществляется с использованием выражения:

$$C_{32} = \Pi_э B_{32}, \tag{20}$$

где $\Pi_э$ – цена электрической энергии, руб/(кВт ч);

Принимая во внимание уравнение (2) и соотношение (5), выражение (20) после преобразований приобретает вид:

$$T_э C_{32} = a_{242} \Delta I_2^{-1} v_2^2, \tag{21}$$

где $a_{242} = 10^{-3} T_э \Pi_э z Q_2 R_{н2} / (2\eta_2)$.

Статья текущих затрат C_{32} по заработной плате определяется по выражению [10]:

$$C_{32} = n_{пс} \Phi_{ср}, \tag{22}$$

где $n_{пс}$ – численность персонала, чел; $\Phi_{ср}$ – средний годовой фонд оплаты труда одного работающего, руб/чел.

Статья текущих затрат C_{a2} на амортизацию обеспечивает замену физически и морально устаревшего оборудования и ее расчет проводят по выражению [10]:

$$C_{a2} = \alpha K_{об2}, \quad (23)$$

где α – норма отчисления на амортизацию.

Статья текущих затрат C_{p2} на ремонт детализируется:

$$C_{p2} = C_{p2(тр)} + C_{p2(и)} + C_{p2(об)}, \quad (24)$$

где $C_{p2(тр)}$, $C_{p2(и)}$, $C_{p2(об)}$ – составляющие статьи текущих затрат на ремонт, соответственно, трубопроводов, их изоляции и оборудования циркуляционного кольца.

Первый $C_{p2(тр)}$ и второй $C_{p2(и)}$ члены правой части соотношения (24) учтены ранее в выражениях (11) и (12) и, соответственно, представлен в них следующим образом:

$$C_{p2(тр)} = k_{тр2} m_{тр2,p}; \quad C_{p2(и)} = \Pi_{и} V_{и2,p},$$

где $k_{тр2}$, $m_{тр2,p}$ и $\Pi_{и}$.

Третий член $C_{p2(об)}$ правой части соотношения (24) определяется с использованием известного выражения [10]:

$$C_{p2(об)} = \varphi K_{об2}, \quad (25)$$

где φ – норма отчислений на ремонт.

Принимая во внимание соотношения (9), (10), (18), (19) и (21)-(23), (25), подставляем величины K_2 и $T_3 C$ по выражениям (7) и (8) в формулу (6). Соответственно, целевая функция в решаемой задаче имеет вид:

$$\pi_2 = a_{212} \Delta I_2 + a_{222} v_2^{-1} + a_{232} \Delta I_2^{-1} v_2^{-1} + a_{242} \Delta I_2^{-1} v_2^2, \quad (26)$$

где

$$a_{212} = a_{и2} / \Delta I_2 + k_{\lambda 0} (1 - \Delta I_{2,э} / \Delta I_2); \quad a_{и2} = T_3 (C_{32} + C_{ип2}) + C_{\lambda и2,э} + \beta_{ар} K_{об2,э};$$

$$k_{\lambda 0} = k_{\lambda и2} + \beta_{ар} k_{об2}; \quad \beta_{ар} = 1 + T_3 (\varphi + \alpha); \quad a_{222} = b_{тр2} + b_{и2}; \quad a_{232} = a_{тр2} + a_{и2};$$

Решив систему уравнений:

$$\partial \pi_2 / \partial (\Delta I_2) = 0; \quad \partial \pi / \partial v_2 = 0 \quad (27)$$

определяют оптимальные значения величин ΔI_2 и v_2 .

Литература

1. Яновский Ф.Б., Михайлова С.А. Энергетическая стратегия и развитие теплоснабжения России // Энергосбережение. – 2003. - №6. – с. 26 - 32.
2. Некрасов А.С., Воронина С.А. Состояние и перспективы развития теплоснабжения в России // Энергосбережение. – 2004. - №3. – с. 22 - 30.
3. Авдюнин Е.Г., Горшенин В.П. Обоснование метода оптимизации мощности системы централизованного

- теплоснабжения «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2006, вып. 5.
4. Горшенин В.П. Оптимизация параметров состояния греющего теплоносителя в рекуперативных теплообменниках // Известия вузов. Строительство. – 2006. - №3-4. – С. 69-73.
 5. Горшенин В.П. Оптимизация теплового режима зданий и сооружений // Известия вузов. Строительство. – 2005. - №3. – С. 71-77.
 6. Гершкович В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор ? (Размышления о параметрах теплоносителя) // Энергосбережение. – 2004. - №5. – С. 42 – 48.
 7. Ливчак В.И. Теплоснабжение жилых микрорайонов города на современном этапе // Энергосбережение. – 2005. - №1. – С. 48–57.
 8. Горшенин В.П. Техничко-экономическое обоснование проектного решения системы централизованного теплоснабжения // Известия вузов. Строительство. – 2006. - №5. – С. 74-78.
 9. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизции: Учеб. для вузов / Под ред. Зарубина В.С., Крищенко Д.П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 440 с.
 10. Экономика предприятий энергетического комплекса: Учебник для вузов / В.С. Самсонов, М.А. Вяткин. – М.: Высшая школа, 2001. - 416 с.

Сергеев И.В., Сергеев А.В.

Общие подходы к выполнению вероятностного анализа безопасности для внутренних пожаров на АЭС

Аннотация

Целью выполнения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) для внутренних пожаров является определение уязвимости энергоблока от внутренних пожаров, а также оценки их вклада в общую частоту повреждения активной зоны (ЧПАЗ).

Основные термины и определения.

Под пожаром понимается процесс неконтролируемого горения, развивающийся вне специального очага, характеризующийся интенсивным выделением тепла, сопровождающийся выделением дыма и/или пламени, который может стать причиной возникновения ИСА.

Здание или часть здания, отделенная от других зданий/частей здания противопожарными барьерами, другими ограждающими конструкциями, или расстоянием, имеющая способность локализовывать /ограничивать в себе пожар в течение определенного промежутка времени.

Основные этапы анализа

- сбор и классификация станционных данных;
- сбор и анализ данных по пожарным событиям АЭС, выбор обобщенных источников;
- определение потенциальных источников пожара и перечня исходных событий аварий (ИСА), вызываемых пожаром;
- выполнение качественного отсева пожарных секторов;
- определение и оценка систем пожарной сигнализации и пожаротушения;
- выполнение количественного отсева пожарных секторов;

- детальный анализ воздействия пожара
- анализ надежности персонала при пожаре;
- анализ чувствительности и неопределенности;
- выводы и рекомендации.

Основные источники информации АЭС.

- архивная проектная, конструкторская и исполнительная документация, хранящаяся на АЭС в архиве, а также в цехах и службах;
- данные по размещению оборудования, полученные в ходе выполнения предыдущих работ по проекту ВАБ для внутренних ИСА;
- обходы станции;
- цеховые и обще станционные инструкции по пожарной безопасности и инструкции по эксплуатации систем автоматического пожаротушения;
- данные обследований оборудования блока, проводившихся ранее;
- результаты собеседований с персоналом АЭС;
- данные по инцидентам и нарушениям АЭС, связанные с пожарами.

Перечень данных, необходимых для анализа

- чертежи, показывающие границы пожарных секторов (ПС) и отсеков (ПО);
- станционные схемы чертежи, показывающие оборудование;
- данные по источникам возгорания, включая данные по их количеству и размещению в пожарных секторах или отсеках;
- данные по трассировке кабелей;
- схемы блочного щита управления (БЩУ) и находящихся рядом помещений с электрооборудованием, размещение шкафов, особенности противопожарной защиты;
- данные о вентиляции БЩУ и других станционных помещений;
- процедуры по локализации и тушению пожара;

- инструкции по хранению, размещению легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ);
- данные об инспекционных проверках противопожарной безопасности;
- данные по надежности систем автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения;
- данные по надежности элементов противопожарных барьеров (огнеупорные клапаны, двери и т.п.);
- данные по испытаниям электрических шкафов на пожароустойчивость;
- регламент противопожарных тренировок на АЭС;

Сбор и анализ данных по пожарным событиям АЭС, выбор обобщенных источников

Специфичными данными принято считать данные по рассматриваемому энергоблоку (в некоторых случаях – данные по однотипным энергоблокам, расположенным на одной площадке);

В качестве источников обобщенных данных используются данные (приоритет выбран на примере энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000, В-320):

- по однотипным энергоблокам (ВВЭР-1000, В-320)
- по энергоблокам других серий (ВВЭР-1000, В-302 или ВВЭР-440, В-312)
- обобщенные данные МАГАТЭ для РУ с ВВЭР. В частности, в качестве источников обобщенных данных могут использоваться документы МАГАТЭ IAEA-TECDOC-719, IAEA-TECDOC-749/R и RER/9/005-5/93
- данные из американских источников NUREG\CR

Источники сбора специфичных данных по пожарным событиям на АЭС

- отчеты о расследовании нарушений, составляемые в соответствии с “Положением о порядке расследования и учета нарушений в работе АС”;
- отчеты о расследовании отклонений в работе АЭС составляемые в соответствии с “Положением о порядке расследования и учета отклонений в работе систем и

оборудования, подготовленности персонала, применимости процедур на АЭС”;

- графики несения электрической нагрузки энергоблока;
- в качестве дополнительных источников информации используются оперативные журналы, журналы дефектов и годовые отчеты по оценке текущего состояния эксплуатационной безопасности, журналы учета нарушений пожарной безопасности.

В терминологии ВАБ внутренних пожаров к пожарным событиям относятся

- пожары;
- возгорания (в отличие от пожара могут быть самозатухающие);
- задымления;
- искрения;
- утечки ЛВЖ и горючих газов;
- Короткие замыкания (КЗ) и межвитковые замыкания обмоток со следами видимых повреждений (обгорания, оплавления);
- неограниченное превышение эксплуатационных температурных параметров.

Определение потенциальных источников пожара

К потенциальным источникам относится следующее оборудование АЭС (перечень не полный):

- шкафы КИПиА;
- насосы с электроприводом;
- ТПН (рассматривается насос вместе с турбиной и системой регулирования);
- трансформаторы (не учитываются субкомпоненты, например, силовые трансформаторы в распределительных устройствах);
- открытое распределительное устройство (ОРУ);
- Дизель - генераторы;
- зарядные устройства аккумуляторов;

- инверторы;
- баки с водородом;
- элементы системы вентиляции (вентиляторы, демпферы, сушилки);
- батареи;
- электродвигатели и оборудование лифтов;
- генераторы;
- распределительные коробки.

Группирование источников пожара

В одну группу объединяются источники возгораний по однотипности следующих данных:

- тип оборудования;
- рабочие характеристики;
- эксплуатационные условия;
- рабочая среда (для насосов);
- присутствие горючих и взрывчатых веществ.

Определение перечня ИСА, вызываемых пожаром

- Полный перечень ИСА формируется путем рассмотрения каждого пожарного сектора и влияния пожара в нем на ИСА ВАБ уровня 1.
- Первоначально принимается, что в результате пожара все оборудование и кабельные связи, находящееся в рассматриваемом пожарном секторе, повреждаются.
- Если пожар в пожарном секторе может вызвать более тяжелые исходные события, нежели те, которые определены в ВАБ 1 уровня, то это исходное событие должно быть дополнительно проанализировано.

Выполнение качественного отсева пожарных секторов

Для дальнейшего рассмотрения оставляются те пожарные сектора или отсеки для которых указанные ниже критерии являются истинными:

- Не обеспечивается локализация пожара в секторе.

- Пожар приводит к повреждению оборудования, смоделированного в ВАБ 1 уровня.
- Пожар вызывает течи 1 контура внутри гермооболочки (ГО).
- Пожар вызывает течи 1 контура за пределы ГО.
- Пожар вызывает ИСА 1 уровня.
- Пожар вызывает более тяжелые ИСА, чем рассмотренные ВАБ.
- Пожар приводит к потере внешнего электроснабжения.

Те пожарные отсеки, в которых ни один из вышеуказанных критериев не является истинным, могут быть исключены из рассмотрения.

Определение и оценка систем пожарной сигнализации и пожаротушения

- Анализ противопожарных систем, их надежности
- Оценка противопожарных барьеров
- Оценка и описание действий персонала при пожаре
- Оценка систем контроля и отображения информации

Выполнение количественного отсева пожарных секторов

Процедура выполнения количественного отсева состоит из трех следующих этапов:

- расчета величины условной вероятности повреждения активной зоны реактора;
- расчета частоты возгорания пожарного сектора;
- количественного отсева пожарных секторов на основании частоты повреждения активной зоны реактора.

Расчет величины условной вероятности повреждения активной зоны реактора

- Каждому сектору сопоставляется специфичное ИСА, которое может быть инициировано при пожаре в этом секторе (выполняется на предыдущих этапах анализа).

- Ответная реакция энергоблока на ИСА характеризуется либо деревом событий (ДС), разработанным для ВАБ внутренних ИСА, либо ДС для более тяжелых ИСА (часто такие события не подлежат отсеvu и рассматриваются в детальном анализе).
- Выполняется модификация вероятностной модели с учетом отказавшего оборудования по причине пожара
- Частота ИСА заменяется на вероятность равную единице (событие произошло).

Расчет частоты возгорания пожарного сектора.

Частота пожарного сценария оборудования группы (i) в пожарном секторе (k) рассчитывается по формуле:

$$F_{si} = F_j * N_{ik}$$

где

F_i – частота пожара, относящаяся к данному источнику возгорания;

N_{ik} – количество источников возгорания типа (i) в пожарном секторе/отсеке (k).

$$F_i = n \setminus t$$

где

n - количество пожарных событий для группы источников возгорания (i);

t - общее время наблюдения всех элементов группы (i).

Если рассматриваемое событие (задымление, кратковременное воспламенение, искрение и т.п.) не приводит к пожару, то оценка условной вероятности **P** возникновения пожара в этом случае является следующей:

$$P = M \setminus N$$

где

M - количество отмеченных пожаров в результате возгорания рассматриваемого оборудования;

N - количество рассматриваемых событий.

Тогда частота пожаров F_{1i} , относящихся к оборудованию типа i, рассчитывается следующим образом:

$$F_{1i} = (n_{1i} \setminus t_{1i}) * P_i$$

где

n_{1i} - количество рассматриваемых событий для группы источников возгорания (i);

t_{1i} - общее время наблюдения всех элементов группы (i).

Общая частота пожара в секторе определяется исходя из суммы вкладов от каждого типа источника пожара:

$$F_s = \sum F_{si}$$

Частота повреждения активной зоны реактора (CDF) при пожаре в каждом пожарном секторе определяется по формуле:

$$CDF_s = F_s * CDP_s$$

Критерии отсева

- Отсеvu подлежат пожарные сектора, вклад которых в частоту повреждения активной зоны реактора (ЧПАЗ), удовлетворяет следующим условиям:
- вклад отдельного (индивидуального) пожарного сектора менее 1% от общего вклада всех инициаторов пожара;
- вклад от всех секторов, подвергшихся процессу отсева, менее 10% от общего вклада всех инициаторов пожара.
- Если сумма вклада от всех отсеянных секторов более 10% от вклада всех инициаторов, доминантные вкладчики будут сохранены и рассмотрены в детальном анализе воздействий пожара.

Анализ надежности персонала

В результате АНП выполняется:

- Повторная количественная оценка ДП, выполняемых как часть ответной реакции энергоблока на ИСА, вызванное пожаром
- Анализ ДП, связанных с ликвидацией пожара (действия пожарной бригады)

Детальный анализ

Детальный анализ пожаров выполняется с целью:

- уменьшения консервативного допущения всех повреждений при пожаре в пожарных секторах, отсеках;
- определения критичных источников возгорания:
 - вызывающие отказы критичных компонентов;
 - вызывающие вторичное возгорание;

- определения вероятности успешного обнаружения и ликвидации до критичного повреждения;
- получения значений частот для различных сценариев пожара.

Общая структура выполнения анализа представлена на рис.1.

Рис.1 Структура ВАБ пожаров



Анализ неопределенности

Анализ неопределенности и чувствительности является завершающим при выполнении работ по ВАБ внутренних пожаров в ограниченном объеме. Анализ выполняется с помощью расчетного кода SAPHIRE. Анализ неопределенности / чувствительности выполняется для тех сценариев пожара, вклад которых в общую частоту повреждения активной зоны составляет более, чем 10⁻⁶ в год. Этот анализ выполняется для определения тех входных параметров и допущений к моделированию, которые обладают значительной неопределенностью. К таким параметрам относятся:

- частота пожара;

- мощность тепловыделения от источника возгорания;
- температура повреждения объекта;
- факторы, влияющие на ВОП.

Выводы и рекомендации

Анализ пожаров заканчивается выводами и рекомендациями. В разделе выводов представляются результаты достижения поставленных целей и объемов выполненных задач. Выводы могут касаться общей оценки пожарной безопасности станции, а также любых изменений в проекте станции, процедурах, тренингах, лицензировании элементов безопасности. Обычно, в таких заключениях достаточно большое внимание уделяется внедрению механизмов снижения рисков, например, разработка процедур и установка дополнительных автоматических систем обнаружения и подавления пожара. Вместе с тем, ВАБ пожара также может идентифицировать участки, где определенные меры пожарной безопасности являются критичными для безопасности станции.

Литература

1. IAEA-TECDOC-1134 Use of operational experience in fire safety assessment of nuclear power plants. IAEA January 2000.
2. Procedure Guide for Probabilistic Fire Vulnerability Evaluation Within RCPEM Framework*. Azarm. March 2001.
3. NUREG/CR-0654 SAND79-0324 RP Nuclear Power Plant Fire Protection – Fire-Hazards Analysis (Subsystems Study Task 4). Dennis L. Berry, Earl E. Minor.
4. UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, Reactor Core Protection Evaluation Methodology for Fires at Soviet Designed RBMK and VVER Nuclear Power Plants, Rep. DOE/NE-0113, DOE, Washington, DC (1996).
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Fire Hazard Analysis for WWER Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-778, IAEA, Vienna (1994).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Fire Protection in Nuclear Power Plants, Safety Series No. 50-SG-D2 (Rev. 1), IAEA, Vienna (1992). INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Procedures for Conducting.

Сергеев И.В., Сергеев А.В., Шардаков А.В.

Общие подходы к выполнению вероятностного анализа безопасности для внутренних затоплений на АЭС

Аннотация

Целью выполнения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) для внутренних затоплений является определение уязвимости энергоблока от внутренних затоплений, а так же оценки вклада внутренних затоплений в общую частоту повреждения активной зоны (ЧПАЗ).

Основные термины и определения

В рамках ВАБ 1-го уровня АЭС под внутренним затоплением понимают неконтролируемое истечение воды от одного или нескольких источников, находящихся на энергоблоке, которые могут стать причиной исходного события или могут приводить к отказу оборудования важного для ВАБ при реализации той или иной аварийной последовательности.

Оборудование, компоненты и/или трубопроводы содержащие воду, высоконапорные трубопроводы и паропроводы, повреждение или ложная работа которых приводит к возникновению затопления (в том числе и из-за ошибки персонала).

Здание, часть здания, группа помещений или одно, отделенная от здания, части здания, группы помещений барьерами или расстоянием, имеющая способность локализовывать/ ограничивать распространение жидкости в пределах данного здания или его части.

Строительные конструкции и/или инженерные устройства, здания или части здания (двери, гидроизоляция, люки) которые полностью или частично ограничивают распространение водяной среды от источника.

Основные этапы анализа

- Сбор станционных данных
- Определение частот
- Анализ отсева
- Детальный анализ
- Выводы и рекомендации

Сбор станционных данных

Первичное выявление потенциальных источников затопления, путей распространения возможных затоплений и уязвимого оборудования, рассмотрение существующих барьеров на пути распространения затопления и их характеристик. Проведение сбора данных, необходимых для идентификации уязвимости энергоблока к внутренним затоплениям, анализ полноты и достоверности собранных данных.

Источниками исходных данных являются

- Ранее выполненные отчеты по анализу внутренних затоплений на АЭС.
- Отчеты по инцидентам и нарушениям, связанным с затоплениями;
- Отчеты/акты испытаний, опробований, др. материалы.
- Инструкции по эксплуатации систем;
- Чертежи размещения оборудования в помещениях энергоблока (зонах затопления), в том числе трассировку кабелей и трактов вентиляционных систем;
- Архитектурные чертежи АЭС .
- Чертежи и геометрические характеристики трубопроводов, являющихся потенциальными источниками затоплений в помещениях энергоблока, разрыв которых может привести к отказу оборудования и систем рассмотренных в уровне 1 ВАБ, а так же компонентов и систем, участвующих в безопасном останове реакторной установки;
- Чертежи строительных конструкций, в том числе данные по проемам, шахтам, коробам и др.
- Базы Данных, разработанные при выполнении ВАБ уровня 1 АЭС:

- База данных по технологическим системам.
- База данных по внутренним затоплениям.
- База данных, разработанная на стадии выполнения анализа безопасного останова при пожаре (если имеется)

Требования к собираемым данным

При проведении сбора данных для оценки уязвимости блока по отношению к внутренним затоплениям, данные, специфичные для отдельных помещений энергоблока, должны описывать:

- геометрические характеристики помещения (если это необходимо);
- установленное в пределах помещения оборудование и условия его поражения (напр., критические отметки, разделение расстоянием);
- данные по мощности ожидаемых в пределах помещений затоплений (максим. емкости систем, условия локализации);
- условия распространения на границе помещения (характеристики ограждения и барьеров, вентиляция и дренажи).
- компоновка электрического оборудования безопасного останова, силовых, контрольных и сигнальных кабелей и последствия от возможного воздействия воды;
- наличие и компоновка оборудования в зоне, снижающего опасность затопления;
- схемы существующих дренажей и/или других путей распространения воды.

Потенциально важные помещения энергоблока

Критериями для определения таких помещений являются:

- Наличие связи (возможность распространения затопления) между данными помещениями и помещениями в которых расположено оборудование/системы ВАБ 1 уровня.
- Наличие в этих помещениях потенциальных источников затопления.
- Возможность распространения затопления через рассматриваемые помещения.

Источники затопления

Потенциальными источниками внутреннего затопления на энергоблоке являются следующие системы и оборудование:

- Низкопотенциальные трубопроводы ($P < 22$ кгс/см²)
- Высокопотенциальные трубопроводы ($P \geq 22$ кгс/см²)
- Емкости с объемом среды более 15 м³

Сбор данных по источникам затопления

- характеристики источника поступления среды (давление, температура, тип среды, расход и т. д.);
- тип возможного воздействия на оборудование (например затопление, запаривание, разбрызгивание);
- возможность отсечения разрушенного участка трубопровода или оборудования;
- объем среды в неотсекаемом участке;
- наличие сигнализации по уровню в помещениях, куда истекает среда из источника;
- наличие блокировок по падению давления на напоре источника подачи среды (при разрушении напорных трубопроводов), отключающих источник;

Сбор данных для анализа частот

На первом этапе определяется источник обобщенных данных (например, отраслевая БД по затоплениям для АЭС)

На втором этапе выполняется сбор станционных данных для расчета относительных частот затоплений.

Для выполнения анализа необходимо собрать следующие данные по источникам затопления

- Длины и диаметры трубопроводов в помещениях энергоблока, включая низконапорные, высоконапорные трубопроводы и паропроводы, с классификацией их по системам энергоблока.
- Объемы баков и емкостей в помещениях, с классификацией их по системам энергоблока.

- Количество и тип компонентов и оборудования в помещениях, повреждение которых может привести к затоплению, таких как фланцевые соединения, арматуры, клапана и т.п.

Результат выполнения подзадачи по сбору данных

- Выполнено начальное (приблизительное) разделение помещений энергоблока на зоны затопления (информация по компоновке важного оборудования необходима для исключения второстепенных зданий и зон на начальном этапе рассмотрения). Если такое разделение приведено в станционной документации (ранее выполненных отчетах, проектной документации), его можно использовать на данном этапе в качестве отправной точки.
- Выполнены обходы энергоблока, собраны и подтверждены данные физически характеризующие важные зоны затопления.
- Определен предварительный перечень источников затопления;
- Рассмотрена имеющаяся документация (чертежи, паспорта на оборудование, ТУ на оборудование, инструкции по эксплуатации систем, иные станционные документы имеющие отношение к внутренним затоплениям);
- Собрана информация по помещениям энергоблока, технологическому и иному оборудованию и его характеристикам, определены (предварительно) возможные пути распространения затопления, имеется информация по утечкам жидкости за пределы рассматриваемых помещений (расположение, геометрические характеристики, объемы протечек за пределы помещений и т.д.);
- Изучены инструкции по ликвидации аварий, технологический регламент, ремонтные инструкции и т.п.

Анализ отсева

Определение независимых по отношению к внутренним затоплениям зон энергоблока, оценку частоты затоплений, определение возможных источников затопления для каждой зоны затопления и их характеристик, определение путей

распространения затопления, определение возможных исходных событий, начальную количественную оценку последствий затоплений.

Определение “независимых зон”.

- Зона будет считаться независимой если затопление, происходящее вне данной зоны не будет распространяться внутрь рассматриваемой зоны затопления без отказа барьера, препятствующего затоплению.
- Зона будет считаться независимой, если при отсутствии отказа барьера, затопление внутри зоны не будет распространяться за пределы зоны затопления.

Критерии качественного отсева зон затопления.

- Затопление не приводит к распространению его за пределы зоны затопления.
- Затопление не приводит к повреждению оборудования, смоделированного в ВАБ 1 уровня.
- Затопление не приводит к ИСА уровня 1 ВАБ;
- Затопление не вызывает более тяжелые ИСА, чем рассмотренные ВАБ уровня 1.

Те зоны затопления, в которых ни один из вышеуказанных критериев не является истинным, подлежат анализу с использованием метода количественного отсева.

Оценка частот затоплений для независимых зон.

Для определения общей частоты затопления зоны рассчитывается частота исходных событий с затоплением от всех источников, находящихся в рассматриваемой зоне.

Частота затопления от каждого источника j -того типа оборудования определяется следующим образом:

$$\lambda_{ИСЗj} = \lambda_{ИСЗjt} / N_j,$$

где

$\lambda_{ИСЗjt}$ – общая частота исходного события затопления j -тым типом оборудования,

N_j – количество j -того оборудования на всей станции.

Частота разрыва типа трубопровода категории j в зоне i :

$$\lambda_{ИСЗija} = \lambda_{ИСЗj} \cdot L_{ij} \cdot P_{ab},$$

где

$$\lambda_{ИСЗj} = \lambda_{ИСЗjt} / L_j,$$

где

L_{ij} – длина j -той категории трубопровода в i -той зоне,

L_j – длина j -той категории трубопровода на всей станции,

$\lambda_{ИСЗj}$ – относительная частота разрыва j -той категории трубопровода на единицу длины трубопровода,

$\lambda_{ИСЗjt}$ – общая частота разрыва j -той категории трубопровода (например, среднего трубопровода системы нормальной эксплуатации высокого давления),

P_{ab} – доля разрывов с относительным размером «а» трубопроводов относительного размера «b» по отношению ко всем разрывам трубопроводов относительного размера «b»

Идентификация уязвимого оборудования и определение возможных исходных событий аварий (ИСА).

Для каждой зоны затопления не отсеянной как зона распространения затопления или зона, вызывающая затопление необходимо рассмотреть оборудование, включенное в ВАБ уровня 1 уязвимое к затоплениям, с целью определения того, какие из ИСА, определенные в модели внутренних событий ВАБ уровня 1, могут произойти в результате отказа систем или компонентов систем при затоплении.

Количественный отсев.

Условная вероятность повреждения активной зоны для каждого конечного состояния должна быть оценена путем перерасчета деревьев событий, разработанных в ВАБ уровня 1, со следующими изменениями:

- Все оборудование в модели ВАБ, расположенное в зоне затопления или являющееся компонентом зоны, рассматривается как поврежденное.
- Вероятность отказа кратковременных действий персонала должна быть увеличена фактором, учитывающим стрессовое состояние исходя из сценария затопления;

- Частота повреждения активной зоны должна быть определена для каждой независимой зоны затопления и определяться посредством умножения частоты затопления в зоне на условную вероятность повреждения активной зоны, рассчитанную исходя из предположения о повреждении оборудования/систем для данной зоны затопления.

Зоны затопления подвергаются процессу отсеивания в случае, когда общий вклад частоты повреждения активной зоны (ЧПАЗ) меньше критерия отсева. Для данного анализа, зоны затопления подвергаются процессу отсеивания при двух условиях:

- Индивидуальный вклад зоны затопления меньше, чем 1% от общего вклада в ЧПАЗ всех инициаторов;
- Вклад от всех отсеянных зон меньше, чем 10% от общего вклада в ЧПАЗ всех инициаторов;

Детальный анализ.

Вероятностная оценка развития тех затоплений, которые являются значительными после проведения анализа отсева. Он включает в себя детальный анализ развития затопления, количественную оценку аварийных последовательностей, инициируемых внутренними затоплениями и оценку вклада внутренних затоплений в общую частоту повреждения активной зоны.

Анализ неопределенности

Анализ неопределенности и чувствительности является завершающим при выполнении работ по ВАБ внутренних затоплений в ограниченном объеме. Анализ выполняется с помощью расчетного кода SAPHIRE. Анализ неопределенности / чувствительности выполняется для тех сценариев пожара, вклад которых в общую частоту повреждения активной зоны составляет более, чем 10^{-6} в год. Этот анализ выполняется для определения тех входных параметров и допущений к моделированию, которые обладают значительной неопределенностью.

Выводы и рекомендации

Анализ затоплений заканчивается выводами и рекомендациями. В разделе выводов представляются результаты достижения

поставленных целей и объемов выполненных задач. Выводы могут касаться общей оценки безопасности станции, а также любых изменений в проекте станции, процедурах, тренингах, лицензировании элементов безопасности. Вместе с тем, ВАБ затоплений также может идентифицировать участки, где определенные меры по повышению устойчивости к внутренним затоплениям АЭС являются критичными для безопасности станции.

Литература

1. NUREG/CR-2300, "PRA (Probabilistic Risk Assessments) Procedures Guide: A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plants."
2. NUREG/CR-2815, "Probabilistic Risk Assessments Procedures Guide".
3. Afzali, A. "Procedure for Performance of Internal Flooding Analysis", Draft Report, SCIENTECH, Inc..
4. "Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipes", Crane company, 1986. A7. Brater, E.F., and King, H.W., "Handbook of Hydraulics, Sixth Edition", 1976.

Авторы



Авдюнин Евгений Геннадиевич, *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.



Горшенин Владимир Петрович, *Россия*.

С.н.с., к.т.н., заведующий кафедрой "Теплотехника и электротехника". В 1970 году окончил МЭИ по специальности "Промышленная теплоэнергетика". В 1985 году защитил кандидатскую диссертацию. Работает в ОрелГАУ с 1997 года. Направление научной деятельности: "Математическое моделирование и оптимизация теплового и гидравлического режимов элементов систем теплоснабжения". Автор 59 публикаций, 1 монографии и 4 изобретений. Ведущий преподаватель по дисциплинам: "Теплотехника", "Гидравлика".



Кизлов Вячеслав Всеволодович, *Россия*.

rawgor@narod.ru

1955 г.р. По образованию – электрофизик, закончил Харьковский политехнический институт, в настоящее время работает в Белгородском филиале ЦНПО «Каскад». Автор сетевого научно-популярного электронного издания «На окраинах Физики»
<http://www.rawgor.narod.ru/>



Коновалов Анатолий Васильевич, Россия.

konovalov@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.

Недосекин Юрий Андреевич, Россия.

meson@inetcomm.ru

Окончил в 1969 году физфак Томского государственного университета по специальности "Теоретическая физика".



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.

Сергеев Игорь Валерьевич, Украина.

1968 г.р. Киевский Национальный Университет им. Т.Г.Шевченко, Международный Центр Ядерной Безопасности, заведующий сектором вероятностного анализа безопасности АЭС. Физик – теплоэнергетик. Закончил Ивановский Государственный Энергетический Университет в 1993 г.

**Филипенко Геннадий Григорьевич,**

Белоруссия. hfil@aport2000.ru

1948 г.р. Родился и вырос в Белоруссии. Живет в г. Гродно. После службы в армии закончил ленинградский Электротехнический Институт по специальности «Полупроводники и диэлектрики».

Занимался выращиванием монокристаллов железонитридевого и кальций-висмут-ванадиевых гранатов; порошковой металлургией; кристаллохимией, кристаллофизикой.

**Хмельник Михаил Ицкович, Израиль.**

solik@netvision.net.il

Доктор физико-математических наук. Научные интересы – гидродинамика, теория фильтрации, ток в газах, математика. Имеет около 120 научных статей. Подготовил ряд кандидатов и докторов наук. Много лет работал доцентом, а затем профессором Московского государственного университета печати. Много лет был ученым секретарем семинара по гидродинамике при Институте проблем механики АН (СССР, а затем РФ), ученым секретарем секции физики Московского общества испытателей природы при МГУ. Почетный профессор Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.



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; работы по новым методам расчета электромеханических систем общего вида, работы по управлению в энергетике.

Шардаков А.В. *Россия.*
