



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

Новосибирск, 2012 г.

УДК 51+53+004
ББК 22+32.81
Ф 50

Рецензент — кандидат физико-математических наук, Зеленская Татьяна Евгеньевна, Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)

Ф 50 «Физико-математические науки и информационные технологии: прошлое, настоящее, будущее»: материалы международной заочной научно-практической конференции. (23 июля 2012 г.) — Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. — 92 с.

ISBN 978-5-4379-0123-6

Сборник трудов международной заочной научно-практической конференции «Физико-математические науки и информационные технологии: прошлое, настоящее, будущее» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных физико-математических наук и информационных технологий.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям в области физико-математических наук и информационных технологий и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития данного направления науки.

ББК 22+32.81

ISBN 978-5-4379-0123-6

© НП «Сибирская ассоциация консультантов», 2012 г.

Оглавление	
Секция 1. Математика	6
1.1. Математическая логика, алгебра и теория чисел	6
АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ВЕЛИКОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА Устинов Юрий Константинович	6
Секция 2. Информационные технологии	12
2.1. Системный анализ, управление и обработка информации	12
АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ПРОФИЛЯ ВЕТРА Баранов Николай Алексеевич Лемищенко Екатерина Валерьевна	12
2.2. Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления	18
О КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ Иванов Александр Леонидович	18
2.3. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей	26
АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ Карпов Пётр Михайлович	26
КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНОЙ HRM-СИСТЕМЕ Самутичев Константин Викторович Порфирьев Александр Николаевич	33

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ Чанкин Антон Александрович	38
2.4. Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети	51
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ Логунова Елена Александровна	51
2.5. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	57
АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО Добаев Александр Заурбекович	57
СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕРМИЧЕСКИМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ Фазлутдинова Татьяна Евгеньевна	63
2.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность	69
ОБЗОР МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПЛИС Еськов Виталий Сергеевич	69
Секция 3. Физические науки	74
3.1. Теплофизика и теоретическая теплотехника	74
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ МИКРОКАНАЛОВ В КНУДСЕНОВСКОМ ПРЕДЕЛЕ С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ Белов Антон Александрович Борисов Сергей Федорович Кузнецов Максим Алексеевич Породнов Борис Трифионович Ухов Александр Ильич	74

3.2. Физика конденсированного состояния	84
О ВЫБОРЕ РЕЖИМА СТЕКЛОВАНИЯ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА	84
Волков Петр Вячеславович Брызгалов Александр Николаевич Живулин Дмитрий Евгеньевич	
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКАНСИЙ НА МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ В МОНОСЛОЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА	87
Сержантова Мария Викторовна Кузубов Александр Александрович Михалев Юрий Глебович	

СЕКЦИЯ 1.

МАТЕМАТИКА

1.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ВЕЛИКОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА

Устинов Юрий Константинович

канд. физ-матем наук, доцент, безработный

E-mail: ustinov-yuk@rambler.ru

Эта статья итожит наши исследования по теореме Ферма (ТФ), опубликованные в 1996 — 2012 гг. [2;7—10]. Некоторые утверждения и предложения из этих работ претерпели здесь различные уточнения и коррекции, однако мы не будем утомлять читателя сравнением нынешних формулировок с их прообразами.

Основные вехи ещё не завершённого доказательства Великой Теоремы Ферма (ВТФ) обстоятельно изложены в книгах М.М. Постникова [5] и Г. Эдвардса [11]. В 1995 году Э. Уайлз довёл-таки доказательство ВТФ до победного конца.

В том же году автор этих строк близко познакомился с задачей Пифагора:

найти все целочисленные решения уравнения Пифагора

$$z^2 = x^2 + y^2 \quad (1)$$

по книге А.В. Волошинова [1]. Тогда же возникла мысль о расширении задачи Пифагора за счёт увеличения числа слагаемых в правой части уравнения (1). Оказалось, что случай с тремя слагаемыми в правой части был уже рассмотрен Вацлавом Серпинским [6], а про большее число слагаемых в правой части информации найти не удалось. Мы рассмотрели этот случай в [7]. Удобства ради мы ввели в обиход задачу Серпинского [8] и задачу Устинова [8]. Автор внимательно рассмотрит любые другие предложения на этот счёт.

Пьер Ферма пошёл по пути увеличения степени уравнения и быстро пришёл к мысли об *отсутствии целочисленных решений уравнения Ферма*

$$z^k = x^k + y^k \quad (2)$$

при $k > 2$ (ТФ). Попытка доказать теорему при $k=3$ не увенчалась успехом, а вот при $k=4$ он доказывает своё предложение. Этих усилий Пьеру Ферма хватило, чтобы оценить всю громадность поставленной им задачи решения уравнения (2) для всех степеней, и он ищет «другой путь». Этот путь он находит, о чём делает знаменитую запись на полях «Арифметики» Диофанта [3, с. 197]: «Я нашёл этому поистине чудесное доказательство ...». Однако в посмертных бумагах П. Ферма это доказательство найти не удалось, и тогда виднейшие математики всех стран и народов взялись за поиск его. Леонард Эйлер, величайший из великих, доказывает ТФ для $k = 3$ [12]. Затем следуют выдающиеся достижения Куммера, Дирихле, Гаусса, Ламе, Лиувилля, Лежандра, Вифериха, Мириманова, Фробениуса и многих других авторов, которые доказывали ТФ для всё более широкого класса показателей. Наконец в 1995 году были покорены последние показатели.

В ходе этой работы сложилось твёрдое убеждение, что П. Ферма не имел элементарного доказательства своей теоремы и что элементарного доказательства ТФ просто не существует. Теорема Ферма приобрела статус «Великая» (ВТФ). Мы приведём здесь альтернативное доказательство ВТФ, которое вряд ли можно назвать сложным, и которое — по нашему мнению — либо само, либо его алгебраическая версия, и было тем «чудесным доказательством», о котором упомянул П. Ферма.

Задача о разложении куба

Начнём с расширения задачи Ферма за счёт увеличения числа слагаемых в правой части до любого натурального значения m :

$$y^k = x_1^k + x_2^k + \dots + x_m^k. \quad (3)$$

Весьма желательно найти подходящий геометрический образ для m -членного уравнения Ферма степени k (3). Такой образ подсказал сам Пифагор. Он придавал квадратному числу форму квадрата [1], составленного из квадратиков (с единичным ребром). Если бы он рассыпал квадратное число на квадратики, а затем из квадратиков формировал бы квадраты разложения, то их могло бы оказаться 2, и тогда получилось бы какое-то решение задачи Пифагора. Их могло бы оказаться 3, и тогда получилось бы какое-то решение задачи Серпинского. Их могло бы оказаться больше трёх, и тогда получилось бы какое-то решение задачи Устинова. Мы применили здесь сослагательное наклонение, потому что ничего этого Пифагор, похоже, не делал.

Эта идея легко обобщается для произвольной размерности k . Рассмотрим k -мерный куб с ребром y , рассыпем его на кубики (с единичным ребром) и займёмся составлением кубов из этих кубиков. Легко указать максимальный объём возможного разложения: y^k . Что касается минимального объёма разложения, то оно может принимать различные значения (≥ 2) в этих пределах. Минимальное значение объёма разложения k -мерного куба с ребром y будем обозначать через $V(k,y)$. Минимальное по y значение $V(k,y)$ будем обозначать через V_k . Так, V_1 естественно равно 2, $V_2 = 2$ (треугольники Пифагора), $V_3 \leq 3$ ($6^3 = 5^3 + 4^3 + 3^3$). В 1770 году Л. Эйлер опубликовал доказательство невозможности разложения 3х-мерного куба на два куба [12]. Это обстоятельство исключает возможность $V_3 = 2$, так что остаётся только вариант $V_3 = 3$. Так для каждой размерности k возникает совсем даже не простая задача определения значения V_k .

Лемма

Итак, для каждых k и y определяется минимальный объём разложения на кубы k -мерного куба с ребром y . И обратно, для каждого k существует k -мерный куб с некоторым ребром y , допускающий разложение на V_k кубов. Такие кубы будем называть *минимально разложимыми*. Увеличение рёбер куба в целое число d раз будем называть *подобным расширением* куба с коэффициентом подобия d . Нам понадобится следующая

Лемма. *Свойство минимальной разложимости куба инвариантно относительно любого подобного расширения его.*

Доказательство. Для заданного k обозначим $V_k = M$. Пусть k -мерный куб с ребром y минимально разложим. Тогда для некоторых x_1, x_2, \dots, x_M

$$y^k = x_1^k + \dots + x_M^k.$$

Подвергнем его подобному расширению с коэффициентом подобия d . Тогда получим

$$(yd)^k = y^k d^k = (x_1^k + \dots + x_M^k) d^k = (x_1 d)^k + \dots + (x_M d)^k,$$

так что подобно расширенный минимально разложимый куб оказывается минимально разложимым. Чтд

Теорема о росте минимального объёма разложения куба вместе с ростом размерности куба

Основное свойство минимального объёма разложения куба содержит следующая

Теорема 1. *Для любого натурального k*

$$V_k \leq V_{k+1}. \quad (4)$$

Доказательство этой теоремы использует конструкцию минимально разложимого $(k+1)$ -мерного куба, k -мерное основание

которого само минимально разложимо. Такой куб строится следующим образом [10]. Пусть p и q рёбра минимально разложимых k -мерного куба P и $(k+1)$ -мерного куба Q . Согласно лемме $(k+1)$ -мерный куб Z с ребром $z=pq$ будет минимально разложимым сам (потому что он подобен кубу Q с коэффициентом подобия p) и его k -мерное основание также будет минимально разложимым (потому что оно подобно кубу P с коэффициентом подобия q). Предположим, от противного, что $V_{k+1} < V_k$. Обозначим $M=V_{k+1}$. Запишем M -членное разложение куба Z :

$$z^{k+1} = t_1^{k+1} + \dots + t_M^{k+1}. \quad (5)$$

Поделив (5) слева на z , а справа каждое слагаемое t_i^{k+1} на t_i , получим неравенство

$$z^k < t_1^k + \dots + t_M^k. \quad (6)$$

Так как, по предположению от противного, здесь в правой части слагаемых меньше минимально необходимого их числа для формирования равенства, то неравенство (6) не обратится в равенство при любом сужении — вплоть до исчезновения — кубов, стоящих как справа, так и слева. В конце концов, у нас останется по одному кубику слева и справа, но в силу сделанного предположения от противного между их объёмами невозможно равенство. Итак, согласно предположению, $1^k < 1^k$, что противоречит очевидному равенству этих величин. Итак, $V_{k+1} < V_k$ невозможно. Чтд

Альтернативное доказательство

Великой Теоремы Ферма

Согласно теореме 1

$$V_2 = 2 \leq V_3 \leq V_4 \leq \dots$$

и если доказать, что $V_3 > 2$, то отсюда будет следовать, что $V_k > 2$ для всех $k > 2$, а это исключает возможность целочисленного решения уравнения Ферма (2) при любом $k > 2$. Но именно это и доказал Л. Эйлер ещё в 1770 году [12]. (Мы здесь, естественно, закрываем глаза на пробелы в его доказательстве, обнаруженные позднее, тем более, что эти пробелы устраняются методами, созданными самим же Л. Эйлером [11].) Таким образом результат Л. Эйлера и наше неравенство (4) в соединении и дают полное доказательство ВТФ! Чтд

Расширенная Теорема Ферма

Так мы называем теорему Ферма, сформулированную для m -членных уравнений Ферма (3).

Теорема 2. *Никакое m -членное уравнение Ферма степени k не может иметь целочисленных решений при $m < V_k$.*

Доказательство заключается в указании на то, что в условиях теоремы в правой части уравнения находится слагаемых меньше минимально необходимого их числа для получения разложения. Чтд

Следствия и последствия

Итак, альтернативное доказательство ВТФ не только существует, но и найдено. Здесь мы обсудим некоторые следствия.

Прежде всего, следует избавить имя П. Ферма от любых обвинений и упрёков в блефовании. П. Ферма вполне мог владеть идеями, близкими нашим. Но, с другой стороны, если бы он владел такими идеями, то он мог бы заявить о доказательстве ВТФ для всех $k \geq 4$. Однако никаких замечаний подобного рода в наследии П. Ферма пока что не обнаружено. Далее, $V_4 \geq V_3 = 3$. В 1988 году Роджер Фрай и Элкис нашли умопомрачительные 3х-членные разложения 4х-мерного куба [4] :

$$422481^4 = 414560^4 + 217519^4 + 95800^4 \text{ (Роджер Фрай)}, \quad (7)$$

$$20615673^4 = 18796760^4 + 15365639^4 + 2682440^4 \text{ (Элкис)}. \quad (8)$$

Эти результаты означают, что $V_4 = 3$. В 1966 году Л. Ландер, Т. Паркин и Дж. Селфридж нашли 4-членное разложение 5-мерного куба [4]:

$$144^5 = 133^5 + 110^5 + 84^5 + 27^5. \quad (9)$$

Этот результат означает, что $V_5 \leq 4$. Так как $V_5 \geq V_4 = 3$, то для V_5 остаются только две альтернативы: $V_5 = 3$ или 4. Чтобы дать окончательный ответ на этот вопрос нужно либо найти 3-членное разложение 5-мерного куба, либо доказать, что такого разложения не может быть. Мы полагаем, что $V_5 = 4$.

Доказательство невозможности 3-членного разложения 5-мерного куба может оказаться делом не менее трудным, интересным и полезным для математики, чем доказательство Эйлером невозможности 2-членного разложения 3-мерного куба. С увеличением размерности кубов эти задачи будут становиться всё более трудными и содержательными, и будут порождать новые понятия и результаты, стимулируя развитие математики.

Разложения (7) — (9) появились в результате поиска контрпримеров к гипотезе Эйлера, высказанной им в 1769 году, в которой он предполагал, что

никакой куб размерностью больше 2 нельзя разложить на кубы числом меньше размерности куба на единицу (интерпретация наша).

Иначе говоря, Эйлер полагал, что для всех натуральных k $V_k \geq k$. При этом он полагал, что строит обобщение теоремы Ферма. Такую же ошибочную гипотезу вместе с ошибочным обобщением теоремы Ферма сформулировали и мы в [8]. Наши нынешние результаты полностью опровергают как гипотезу Эйлера, так и нашу.

Что же касается общего поведения минимального объёма разложения куба на кубы, то он будет расти вместе с размерностью куба, однако отставая от неё всё больше и больше. Необходимо построить

теорию разложения 3-мерного куба на кубы, которая позволила бы строить все примитивные разложения и вообще давать ответы на все вопросы. (Подобная теория для разложения квадратов уже построена, см. [2; 7].) После этого то же надо сделать относительно 4-мерных кубов, и т. д.

Список литературы:

1. Волошинов А.В. Пифагор: Союз Истины, Добра и Красоты. ПРОСВЕЩЕНИЕ, М., 1993.
2. Воронцова Н.Н., Гриншпон Я.С., Окунева Е.И., Устинов Ю.К. Описание и построение примитивных n -ок Пифагора. Исследования по математическому анализу и алгебре. Томск, ТГУ, 2000, с. 16—23.
3. Диофант. Арифметика. НАУКА, 1974.
4. Гипотеза Эйлера. Википедия, Яндекс.
5. Постников М.М. Введение в теорию алгебраических чисел. НАУКА. 1982.
6. Серпинский В. Пифагоровы треугольники. УЧПЕДГИЗ, М.: 1959.
7. Устинов Ю.К. Обобщение задачи Пифагора. Вторая Сибирская геометрическая конференция, Томск, ТГПУ, 1996, С. 83—84.
8. Устинов Ю.К. От ПИФАГОРА, ПЛАТОНА и ЕВКЛИДА до гипотезы, обобщающей Великую Теорему Ферма. Вестник СГПИ, 2010, вып. 1(10), С. 103—108.
9. Устинов Ю.К. Доказательство Великой Теоремы Ферма и её расширения. Вестник СГПИ, 2010, вып. 2(11), С. 82—85
10. Устинов Ю.К. Доказательство Великой Теоремы Ферма и её расширения, II. Вестник СГПИ, 2011, вып.2(13) и 2012, вып. 1(14), С. 60—63.
11. Эдвардс Г. Последняя теорема Ферма. Генетическое введение в алгебраическую теорию чисел. Пер. с англ., М., 1980.
12. Euler L. Vorstandige Anleitung zur Algebra. СПб, 1770, Opera (1), vol I, 50, 61.

СЕКЦИЯ 2.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

2.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ПРОФИЛЯ ВЕТРА

Баранов Николай Алексеевич

*д-р. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ВЦ РАН им.
А.А. Дородницына, г. Москва
E-mail: baranov@ccas.ru*

Лемищенко Екатерина Валерьевна

*начальник отдела, ООО «Международные авионавигационные
системы», г. Москва
E-mail: lev@ians.aero*

*Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проекты
№ 10-07-00381, 12-07-00697) и программы фундаментальных
исследований ОМН РАН № 3.*

Сканирующий доплеровский лидар относится к средствам дистанционного измерения профиля скорости ветра $\{W(r_0, h_j, t_j)\}_{j=0}^n$, где $h_j = h_0 + j\Delta h$ - высоты сканирования, h_0 - начальная высота сканирования, Δh - шаг сканирования по высотам, $t_j = j\tau$ - время измерения на j -й высоте, τ - время сканирования на одной высоте, r_0 - координаты точки измерений в горизонтальной плоскости. Получение полного профиля скорости ветра занимает время $T = (n+1)\tau$. В процессе работы возникают ситуации, когда в силу тех или иных причин на

некоторых высотах в процессе одного цикла сканирования образуется пропуск данных, т.е. лидар не определяет значение скорости ветра. В этом случае возникает задача восполнения пропущенных данных измерений.

Излагаемый подход развивает подходы, изложенные в работах [1; 2; 3].

Будем представлять профиль ветра в виде суммы двух составляющих:

$$\mathbf{W}(\mathbf{r}_0, h, t) = \mathbf{W}_0(h) + \mathbf{W}'(\mathbf{r}_0, h, t), \quad (1)$$

где: $\mathbf{W}_0(h)$ - осредненный профиль ветра, а $\mathbf{W}'(\mathbf{r}_0, h, t)$ - флуктуационная составляющая скорости ветра, обусловленная турбулентными пульсациями.

Предполагая (для упрощения изложения), что вертикальный перенос воздушных масс отсутствует, на основании гипотезы замороженной турбулентности примем допущение, что пульсационная составляющая скорости ветра $\mathbf{W}'(\mathbf{r}_0, h, t)$ на высоте h в момент времени t_2 связано с ее значением в момент времени t_1 соотношением вида

$$\mathbf{W}'(\mathbf{r}_0, h, t_2) = \mathbf{W}'(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h)(t_2 - t_1), h, t_1). \quad (2)$$

Предположим, что на некотором цикле сканирования не были получены от лидара данные о скорости ветра $\mathbf{W}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i)$ на высоте h_i и рассмотрим задачу получения оценки $\tilde{\mathbf{W}}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i) = \mathbf{W}_0(h_i) + \Delta\tilde{\mathbf{W}}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i)$ этой скорости по результатам измерений скорости ветра на высотах $\{h_j\}$, включая измерения скорости ветра на высоте h_i , полученные в предыдущих циклах сканирования профиля ветра. В силу соотношения (1) задача оценивания состоит в получении оценки $\Delta\tilde{\mathbf{W}}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i)$ флуктуационной составляющей скорости ветра $\mathbf{W}'(\mathbf{r}_0, h_i, t_i)$ на высоте h_i в момент времени t_i :

$$\tilde{\mathbf{W}}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i) = \mathbf{W}_0(h_i) + \Delta\tilde{\mathbf{W}}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i). \quad (3)$$

Будем искать оценку $\Delta\tilde{\mathbf{W}}_i = \Delta\tilde{\mathbf{W}}(\mathbf{r}_0, h_i, t_i)$ в виде

$$\Delta\tilde{\mathbf{W}}_i = \sum_j \sum_{l=0}^L \alpha_{jl} \Delta\mathbf{W}_j(\mathbf{r}_0, h_j, t_j - lT), \quad (4)$$

где: L — количество учитываемых циклов сканирования профиля ветра,

$\Delta W_j(\mathbf{r}_0, h_j, t_j - lT)$ - результаты измерения на высоте h_j в момент времени $t_j - lT$ флуктуационной составляющей скорости ветра, а α_{jl} - коэффициенты интерполяции, подлежащие определению.

Будем предполагать, что ошибки измерений скорости ветра на различных высотах являются взаимно независимыми случайными величинами с нулевым математическим ожиданием и дисперсией Δ_j^2 .

Дисперсия ошибки аппроксимации вида (4) определяется следующим соотношением:

$$\sigma_i^2 = M \left[W'(\mathbf{r}_0, h_i, t_i) - \sum_j \sum_{l=0}^L \alpha_{jl} \Delta W_j(\mathbf{r}_0, h_j, t_j - lT) \right]^2. \quad (5)$$

После преобразования соотношение (5) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \sigma_i^2 = & M[W_i']^2 - 2 \sum_j \sum_{l=0}^L \alpha_{jl}^{(i)} M[W_i'(\mathbf{r}_0, h_i, t_i) W_j'(\mathbf{r}_0, h_j, t_j - lT)] + \\ & + \sum_{j,l,m,k} \alpha_{jl}^{(i)} \alpha_{mk}^{(i)} \left\{ M[W_j'(\mathbf{r}_0, h_j, t_j - lT) W_m'(\mathbf{r}_0, h_m, t_m - kT)] + \delta_{j,l}^{m,k} \Delta_j^2 \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

где значения коэффициента $\delta_{j,l}^{m,k}$ определяются соотношением

$$\delta_{j,l}^{m,k} = \begin{cases} 1, & \text{если } m = j, k = l, \\ 0, & \text{если } m \neq j \text{ или } k \neq l. \end{cases}$$

Используя необходимое условие минимума функционала (6), получаем систему уравнений для определения коэффициентов аппроксимации вида (4):

$$\sum_{m,k} \alpha_{mk}^{(i)} \left\{ R_{j,l}^{m,k} + \delta_{j,l}^{m,k} \Delta_j^2 \right\} = R_{i,0}^{j,l}, \quad (7)$$

$$\text{где: } R_{j,l}^{m,k} = M[W_j'(\mathbf{r}_0, h_j, t_j - lT) W_m'(\mathbf{r}_0, h_m, t_m - kT)] \quad (8)$$

- пространственно-временная корреляционная функция пульсационных значений скорости ветра на высотах h_j, h_m в моменты времени $t_j - lT$ и $t_m - kT$ соответственно.

Используя принятую ранее гипотезу (2) можно перейти от пространственно-временной корреляционной функции вида (8) к пространственной корреляционной функции вида

$$R_{j,l}^{m,k} = M[W'_j(r_0 - W_0(h_j)(t_j - lT - t_m), h_j, t_m)W'_m(r_0 - W_0(h_m)kT, h_m, t_m)] \quad (9)$$

приведенной к одному моменту времени t_m .

В частном случае, когда используются только результаты измерений одного цикла сканирования профиля ветра, соотношение (9) принимает вид

$$R_j^m = M[W'_j(r_0 - W_0(h_j)(j - m)\tau, h_j, t_m)W'_m(r_0, h_m, t_m)].$$

В тех случаях, когда корреляционная функция ветра неизвестна, в качестве приближения может быть использованы корреляционные функции компонент скорости ветра, рассчитанные на основе гипотезы однородной изотропной турбулентности.

Представим пульсационные составляющие скорости ветра в виде суммы двух составляющих: продольной и нормальной проекции скорости ветра на радиус-вектор, соединяющий две точки измерения на разных высотах (рис. 1):

$$W'_j(r_0, h_j, t_j) = W'_{rj}(r_0, h_j, t_j)e_{jm} + W'_{nj}(r_0, h_j, t_j)n_{jm},$$

где e_{jm} - единичный вектор, соответствующий направлению от точки $(r_0 - W_0(h_j)(j - m)\tau, h_j)$, а n_{jm} - единичный вектор нормали к нему.

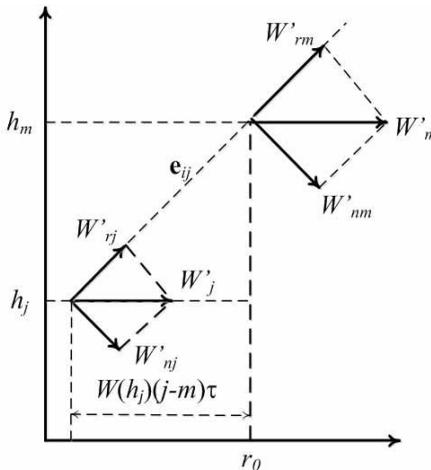


Рисунок 1. Разложение скорости ветра на продольную и нормальную составляющие

Тогда корреляционную функцию (9) можно представить в виде

$$R_{j,l}^{m,k} = M[W'_{rj}(r_0 - W_0(h_j)(t_j - lT - t_m), h_j, t_m)W'_{rm}(r_0 - W_0(h_m)kT, h_m, t_m)] +$$

$$+ M[W'_{nj}(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_j)(t_j - lT - t_m), h_j, t_m)W'_{nm}(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_m)kT, h_m, t_m)],$$

Первое слагаемое в этом выражении представляет собой корреляционную функцию радиальных компонент вектора скорости (направленных вдоль радиус-вектора, соединяющего точки $(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_j)(t_j - lT - t_m), h_j)$ и $(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_m)kT, h_m)$), а второе — корреляционную функцию компонент вектора скорости, нормальных к направлению \mathbf{e}_{jm} (рис. 1).

В рамках предположения об однородной изотропной турбулентности эти корреляционные функции зависят только от расстояния между точками

$$d_{j,l}^{m,k} = \sqrt{|\mathbf{W}_0(h_j)(t_j - lT - t_m) - \mathbf{W}_0(h_m)kT|^2 + |h_j - h_m|^2}$$

и имеют вид

$$\begin{aligned} T_{j,l}^{m,k} &= M[W'_{rj}(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_j)(t_j - lT - t_m), h_j, t_m)W'_{rm}(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_m)kT, h_m, t_m)] = \\ &= \sigma^2 \exp\left(-\frac{d_{j,l}^{m,k}}{L}\right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{j,l}^{m,k} &= M[W'_{nj}(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_j)(t_j - lT - t_m), h_j, t_m)W'_{nm}(\mathbf{r}_0 - \mathbf{W}_0(h_m)kT, h_m, t_m)] = \\ &= \sigma^2 \left(1 - \frac{d_{j,l}^{m,k}}{2L}\right) \exp\left(-\frac{d_{j,l}^{m,k}}{L}\right), \end{aligned}$$

где: σ^2 — среднеквадратическое отклонение скорости ветра,

L — масштаб турбулентности.

В частном случае, когда для восстановления данных используются результаты только одного цикла сканирования профиля ветра выражение для $d_{j,l}^{m,k}$ принимает вид

$$d_j^m = d_{j,0}^{m,0} = (j - m) \sqrt{|\mathbf{W}_0(h_j)|^2 + |\Delta h|^2}.$$

Таким образом, в рамках предположения об однородной изотропной турбулентности система уравнений (7) для определения коэффициентов аппроксимации пульсационной составляющей скорости ветра в пропущенных данных принимает вид

$$\sum_{m,k} \alpha_{mk}^{(i)} \left\{ T_{j,l}^{m,k} + N_{j,l}^{m,k} + \delta_{j,l}^{m,k} \Delta_j^2 \right\} = T_{i,0}^{j,l} + N_{i,0}^{j,l}.$$

Список литературы:

1. Баранов Н.А., Васильев И.В. Восстановление возмущающего воздействия для многомерных динамических систем. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. Т. 6. № 7. С. 40—46.
2. Баранов Н.А., Васильев И.В., Шаповалов Н.Н. Алгоритмы восстановления возмущающего воздействия. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 8. С. 32—38.
3. Baranov N.A. Improving the scanning lidar wind speed measurement accuracy by using the optimal interpolation //European researcher = Европейский исследователь. 2012. Т. 1. № 5. С. 432—435.

2.2. ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

О КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ

Иванов Александр Леонидович

*канд. техн. наук, доцент Российского государственного
социального университета (РГСУ), г. Москва*

E-mail: Alex_Ivanov1949@mail.ru

Рассматривая поставленную задачу, которая при предлагаемом подходе ранее не изучалась, необходимо отметить, что несмотря на многочисленные исследования, направленные на формирование схем цифровых устройств с жесткой логикой (ЦУ), отличающихся высокотехнологичной структурой для их микроэлектронной реализации [2; 3], сохраняется противоречие между этапом ТП — технического проектирования ЦУ — и предшествующим ему этапом логического проектирования (ЛП). На этапе ТП решаются задачи компоновки, размещения конструктивных модулей (КМ) ЦУ, а также трассировки их соединений. Здесь стараются получить унифицированные варианты конструкций, особенно в условиях создания монолитных БИС или БГИС и применяют критерии оценки качества решений на каждой стадии ТП, как:

$$F = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \vec{U}_{ij} \rightarrow \min; i \neq j; i, j \in \overline{\{1, K\}}, (1)$$

где U_{ij} — дуги графа, соединяющие подграфы G_i — отображает систему элементов, образующих i -тый КМ;

$$F = P + \lambda D, (2)$$

где: P — число межмодульных связей,

D — число типов КМ,

λ — коэффициент относительной важности P и D .

Это позволяет получать более высокие технологические характеристики микроэлектронного ЦУ. Алгоритм, приведенный в [6, с 81], позволяет по данному критерию оптимизировать модель структуры ЦУ так, что она характеризуется минимальным числом типов КМ.

На выделении и формировании часто повторяющихся (устойчивых) групп элементов (т. н. базовых структур — БС) основан и другой

алгоритм типизации. Здесь каждый из вариантов состава БС формируется с использованием коэффициента относительной связности, выступающего в качестве локально-оптимального критерия, что в общем случае приводит к уменьшению числа внешних выводов КМ.

Для ЦУ различных классов и, прежде всего, для восстанавливаемых ЦУ, универсальным показателем, оценивающим унификацию КМ и характеристики надежности является потребный объем ЗИП. Поэтому наиболее точно отражает качество таких устройств полученный аналитически критерий L [4]:

$$L = a \sum_{i=1}^t b_i + \sum_{i=1}^t l_i \rightarrow \min, (3)$$

где b_i — число КМ i -го типа в ЦУ;

l_i — число КМ i -го типа в ЗИП;

t — число типов КМ в ЦУ; $a=2-3$ для радиотехнических предприятий.

Хотелось бы отметить, что критерий (3) получен аналитически впервые в отличие от множества предлагаемых критериев, полученных «с потолка».

Заметим, при выводе выражения (3) полагалось, что стоимость модулей всех типов одинакова. В реальности это не выполняется, поэтому в выражение (3) следует ввести нормирующий коэффициент N_i — уровень интеграции КМ i -го типа. Тогда критерий оптимальности структуры восстанавливаемых ЦУ будет иметь вид:

$$L = a \sum_{i=1}^t \frac{b_i}{N_i} + \sum_{i=1}^t \frac{l_i}{N_i}, (4) \text{ при ограничениях:}$$

$$V \leq V_{\text{доп}}, T \leq T_{\text{доп}}, (5),$$

где: $V_{\text{доп}}$ — допустимое число внешних выводов КМ,

$T_{\text{доп}}$ — допустимое число КМ в ЦУ.

В то же время на этапе ЛП продолжают применять (главным образом в теории) приближенные методы минимизации ЦУ, поскольку это — **каноническая** оптимизация, и программное обеспечение этого процесса давно и подробно разработано.

Для того, чтобы единая стратегия проектирования сохранялась на всех этапах, необходимо на каждом этапе проводить оптимизацию по критерию, отражающему характеристики того типа модели ЦУ, который используется на данном этапе и который имеет один и тот же смысл и на следующем этапе. Иначе говоря, необходима оптимизация по адекватным критериям.

Значит, для проектирования ЦУ различного назначения следует на этапе ЛП сформировать критерии оптимальности модели поведения (МЛП), адекватные критериям (2,3,4) этапа ТП с последующим получением такого вида МЛП ЦУ, который бы удовлетворял сформированным критериям.

Здесь хочется отметить совершенно новый подход к ЛП ЦУ: предлагается не использовать настраиваемые КМ для реализации полученной аналитически МЛП ЦУ, а получать такой вид МЛП, который позволял отображать её абсолютно одинаковыми КМ без всякой настройки, лишь подавая на определенные входы константы: 0 или 1. Поскольку такой подход никто из известных мне авторов не публиковал, то хочется думать, что он составляет новое научное направление, которое заслуживает тщательной разработки.

Определение 1. Морфологической оптимизацией МЛП ЦУ называется её формирование в виде, обеспечивающем получение минимума типов КМ, имеющих заданные конструктивные характеристики, реализующих ЦУ [8].

Одной из первых попыток морфологической оптимизации МЛП комбинационных схем (КС) следует признать эвристический метод, предложенный А.Г. Алексенко [1, с. 98], в основе которого лежит получение такого вида МЛП, который отображается минимальным числом функциональных модулей в избыточном Ф-базисе. Цель оптимизации — получение булевых выражений (МЛП КС), экономично реализуемых по числу МДП-транзисторов в соответствии с критерием:

$$\Phi = \sum_{i=1}^m Ki + m + 3n', \quad (6)$$

где: m — число структур Ф-типа, т.е. сочетания логических элементов И-ИЛИ-...-НЕ и ИЛИ - И- ИЛИ-...-НЕ, включая вырожденные конфигурации ИЛИ-И- ...- НЕ, И-НЕ и т. д.;

Очевидно, что такой критерий в некоторой степени адекватен целевой функции (2), однако он не отражает затраты на эксплуатацию ЦУ и не инвариантен к виду базовой технологии КМ.

В последнее время в связи с принципиальной возможностью изготовления заказных СБИС уже много лет большое число специалистов [7; 9] склоняются к приоритету несвязанных вентильных матриц (UGA) или групп активных элементов (AEG) перед другими типами интегральных субструктур, т.к. они наилучшим образом подходят к технологии БИС, а длительность цикла их разработки и разработки ЦУ на их основе в 3-10 раз меньше, чем заказных БИС. Учитывая это, очевидно, что особое внимание целесообразно уделять разработке методов морфологической оптимизации МЛП ЦУ, которые наилучшим образом позволяют реализовать устройства на основе субструктур, подобных UGA или AEG.

Значит, при проектировании ЦУ различного назначения следует осуществлять морфологическую оптимизацию их МЛП по критерию адекватному целевой функции (4) при ограничениях (5).

Исходной информацией для стадии компоновки ЦУ является его схема электрическая принципиальная, которая на этапе КП трансформируется лишь топологически. Значит априорно определено, что если морфологические свойства схемы плохие, то нельзя достигнуть требуемых характеристик технологичности, т.к. все возможные алгоритмы компоновки, ориентированные на удовлетворение перечисленных выше показателей качества, позволяют лишь незначительно улучшить морфологические свойства ЦУ. Поскольку же эти алгоритмы очень сложны и требуют больших вычислительных ресурсов, затрат машинного времени и длительной подготовки информации для ввода в ЭВМ, то при проектировании ЦУ реальной сложности необходимость и достижимость решения задачи унификации КМ на этапе КП становятся проблематичными.

Тем самым радикально возрастает актуальность выполнения морфологической оптимизации ЦУ на этапе ЛП, в результате которого получаем схему электрическую функциональную, максимально приближенную к схеме электрической принципиальной, но обладающую весьма полезными свойствами.

Задача установления адекватности математических выражений в контексте формул (2) и (4) ранее никогда не ставилась и не решалась.

Однако на основании некоторых известных математических методов [5, с. 516] можно сформулировать предложения относительно путей формального установления адекватности математических выражений.

Предложение 1. Алгебраические выражения можно представить словами в ассоциативном исчислении. Чтобы задать ассоциативное исчисление, необходимо определить алфавит и конечную систему допустимых подстановок. Слова можно задать в алфавите букв: математических символов переменных и алгебраических операторов. Тогда наиболее вероятно, что адекватными будут формулы, представляемые эквивалентными словами.

Заметим очевидное: отношение эквивалентности — самое сильное свойство на любом пространстве математических процедур.

Определение 2. Два слова называются эквивалентными, если одно из них можно получить из другого последовательным применением конечного числа подстановок.

Предложение 2. Понятие изоморфизма обычно определяется в теории множеств. Однако, если интерпретировать алгебраические выражения в терминах теории множеств как множество математических символов переменных и заданным на пространстве переменных подмножеством алгебраических операторов, то, видимо, можно говорить

и об изоморфизме математических выражений. Тогда наиболее вероятно, что адекватными будут изоморфные формулы.

Определение 3. Изоморфными называются такие множества, которые обладают одинаковыми свойствами относительно определенных на них операций.

Предложение 3. Наиболее вероятно, что адекватными будут равносильные формулы.

Определение 4. Две функции считаются равносильными, если на любых значениях аргументов эти функции принимают одинаковые значения.

На основании последовательного применения этих предложений получим формулы, адекватные выражениям (4) и (6):

Реализация предложения 1. Зададим ассоциативное исчисление алфавитом символов (пусть $N_i=1$):

$$\{a; b_i; l_i; q_i; h_i (i=\overline{1, t}), V, V_{\text{доп}}, v, v_{\text{крит.}}, T, T_{\text{доп}}, R, R_{\text{доп.}}; *, +, \leq\}$$

и системой допустимых подстановок (— есть символ подстановки):

$$\{[a * b_{i+}] \text{ — } [a * q_{i+}]; [l_i \text{ — } h_i, \forall i = (\overline{1, t} - 1)]; [lt \text{ — } ht]; [V \text{ — } v];$$

$$[\leq V_{\text{доп}} \text{ — } \leq v_{\text{крит.}}]; [T \text{ — } R]; [\leq T_{\text{доп}} \text{ — } \leq R_{\text{доп.}}]\}.$$

В результате применения каждой подстановки в исходном слове можно получить новое слово, которое входит в образующуюся при подстановках дедуктивную цепочку слов. Для наглядности представим выражения (4) и (6) в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = (ab_1+)(ab_2+)\dots(ab_t+)(l_1+)(l_2+)\dots(l_t) \quad (7) \\ (V)(\leq V_{\text{доп.}}); (T)(\leq T_{\text{доп.}}). \end{array} \right.$$

После применения $2t+4$ подстановок в слове (7) получим слово-систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} K = (aq_1+)(aq_2+)\dots(aq_t+)(h_1+)(h_2+)\dots(h_t) \\ (v)(\leq v_{\text{крит.}}); (R)(\leq R_{\text{доп.}}). \quad (8) \end{array} \right.$$

На каждом шаге можно определять эквивалентность исходного и вновь сформированного слова, используя дедуктивные варианты — свойства, остающиеся постоянными для всех слов дедуктивной цепочки. Например, если в подстановках правая и левая части имеют одинаковое число вхождений буквы **a**, то в любой дедуктивной цепочке все слова должны содержать одно и то же число вхождений буквы **a**. Сравнивая систему слов в начале и в любом месте, в том числе и в конце дедуктивной цепочки, устанавливаем, что число вхождений буквы **a** равно t . Следовательно, система слов (8) эквивалентна исходной системе слов (7), а значит систему (8) можно представить в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} K = a \sum_{i=1}^t q_i + \sum_{i=1}^t h_i \quad (9) \\ (v)(\leq v_{\text{крит.}}); (R)(\leq R_{\text{доп.}}). \end{array} \right.$$

Реализация предложения 2. Выражения (4) и (5), соответственно, представляются подмножествами переменных:

$$\{a, b_i, l_i (i=1, t), \{V, V_{\text{доп}}\}, \{T, T_{\text{доп}}\}\} \\ \text{и операторов: } \{+, *\} \text{ и } \{\leq\}.$$

В силу определения 3 выражения, изоморфные формулам (4) и (5), должны иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} F\{C; q_i, h_i (i=\overline{1, t}); +, *\} = C \sum_{i=1}^t q_i + \sum_{i=1}^t h_i \quad (10) \\ v \leq v_{\text{крит.}}; R \leq R_{\text{доп.}}, \quad (11) \end{array} \right.$$

т. к. переменные обладают одинаковыми свойствами относительно определенных на них операций $\{+, *, \leq\}$.

Дадим ряд определений [8].

Булево выражение (БВ) задается на пространстве, представляемом кортежем $\langle \Phi, a_1, \dots, a_0 \rangle$, где $\Phi = \{\varphi_i\}$, $i = \overline{1, l}$, есть множество булевых подфункций, в то время, как множество $A = \{a_\delta \in A \mid \delta = \overline{1, \theta}\}$ — бинарные отношения, заданные на множестве Φ , т. е. булева функция

$$f(x_1, x_2, \dots, x_l) = \{\varphi_1 a_1 \varphi_2 a_2 \dots a_0 \varphi_l\}, \quad (12)$$

В частности может быть, что $A = \{a_1\}$.

Определение 5. Морфологической структурой БВ

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_l), \quad x_i \in X,$$

где y — выходной сигнал, соответствующий в каждый момент автоматного времени комбинации входных переменных x_i , называется совокупность подфункций $\Phi = \{\varphi_i\} (i = \overline{1, l})$, и связывающих их бинарных операторов $A = \{a_\delta\}$, ($\delta = \overline{1, \theta}$), таких, что $\varphi_i a_\delta \varphi_j, \forall i, j \in \{\overline{1, l}\}, \forall \delta \in \{\overline{1, \theta}\}$.

На первый взгляд наблюдается некоторая тавтологичность данного определения, но здесь используется «структурный» подход к анализу формулы. Всегда в дальнейшем будем полагать, что любая подфункция φ_i реализуется КМ некоторого уровня конструктивной иерархии: БИС, чипом и т. п.

Определение 6. Качественной оценкой морфологической структуры БВ называется порядок следования (\vec{P}_k) бинарных операторов a_δ при конкретном варианте расположения подфункций φ_i в пределах формулы БВ. Индекс k определяет класс БВ [8].

Определение 7. БВ F_1 и F_2 называются морфологически однородными на конечном множестве бинарных операторов $A_f \subseteq A$, если $\vec{P}_k(F_1) = \vec{P}_k(F_2)$.

Замечание 1. Поскольку подфункцию $\varphi_i (i \in \{\overline{1, l}\})$ тоже можно представить в виде $\varphi_i = \{\varphi_{i a_\delta} \varphi_{i j}\}$, то определения 5, 6, 7 верны и для подфункции φ_i .

Замечание 2. Определение 7 отличается от определения однотипных БФ, входящих в одну из L-классификаций [5, с. 670], т. к. БВ F_1 и F_2 не относятся в общем случае к классу неповторных.

Реализация предложения 3. Исходя из данных определений, задача морфологической оптимизации МЛП КС формулируется как поиск (или формирование) такого БВ, которое представляется декомпозицией морфологически однородных подфункций φ_i ($i \in \overline{1, l}$).

В таком случае формулы (4), (5), (10) и (11) будут попарно равносильны, если $C=a$. При изготовлении ЦУ методами интегральной технологии последнее допущение справедливо, если БГИС разрабатывается и изготавливаются на том же предприятии, что и ЦУ. Поэтому критерием оптимальности МЛП КС будем считать выражение вида:

$$K = a \sum_{i=1}^t \frac{q_i}{N_i} + \sum_{i=1}^t \frac{h_i}{N_i'}, \text{ или, что то же самое,}$$

$$K = \sum_{i=1}^t \frac{aq_i + h_i}{N_i}, \quad (13) \text{ при ограничениях}$$

$$v \leq v_{\text{крит.}}; R \leq R_{\text{доп.}}, \quad (14)$$

где $a=2-3$ для радиотехнических предприятий; t — число типов морфологически однородных подфункций в БВ; q_i — число морфологически однородных подфункций i — го типа; h_i — число подфункций i — го типа, реализуемых в КМ дополнительно к основным и коммутируемым либо в процессе изготовления ЦУ металлизацией, либо в процессе настройки или эксплуатации электрической коммутаций; N_i — число морфологически однородных подфункций i -го типа, реализуемых в КМ; v — число букв (переменных или их отрицаний) в подфункции; $v_{\text{крит}}$ — максимальное число букв в подфункции, при котором БВ предварительно не подвергается декомпозиции; R — общее число подфункций, реализуемых в КМ.

При $N_i = N = \text{const}$ подфункции, входящие в число h_i , реализуются в виде отдельных КМ и составляют ЗИП.

Согласно [10] число модулей i — го типа в ЗИП для показателя обеспеченности изделия P $\text{tr} = 0,9$ определяется как:

$$h_i = \left\lfloor \frac{t_n q_i}{T_i} + 1 \right\rfloor = \lfloor \lambda_i q_i t_n + 1 \rfloor, \quad (15)$$

где $\lfloor \]$ - знак округления до ближайшего меньшего целого числа; t_n — время пополнения ЗИП; T_i — среднее время безотказной работы КМ i -го типа; $\lambda_i = 1/T_i$ — интенсивность отказов КМ i -го типа. Если построить график функции (15), то легко убедиться, что чем меньше отношение t_n/T_i , тем больший эффект достигается за счет сокращения числа типов КМ.

Таким образом, предложенный критерий оптимальности МЛП КС определяет качество решения задачи унификации на этапе ЛП и характеристики надежности.

Выводы и основные результаты.

1. Впервые предложено при синтезе КС выполнять настройку не конструктивных модулей, отображающих модель поведения КС, а настройку самой модели поведения для её отображения одинаковыми КМ без их дополнительной настройки.

2. Впервые предложено выполнять оптимизацию модели поведения микроэлектронных ЦУ по критериям, адекватным показателям качества, применяемым на этапе конструкторского проектирования.

3. Аналитически получен критерий оптимальности морфологической структуры модели поведения восстанавливаемых ЦУ, отражающий характеристики надежности и технологичности. Выражение критерия получено в результате использования предложенных принципов формального установления факта адекватности показателей качества.

Список литературы:

1. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. М.: ЮНИМЕДИА-СТАЙЛ. Серия: Технический университет. 2009. — 448 с.
2. Артюхов В.Л., Копейкин Г.А., Шальго А.А. Настраиваемые модули для управляющих логических устройств. Л.: Энергоиздат, 1981. — 168 с.
3. Баранов С.И., Скларов В.А. Цифровые устройства на программируемых БИС с матричной структурой. М.: Радио и связь, 1986.— 272 с.
4. Березин А.И. Об использовании структурной избыточности на этапе конструкторского проектирования типовых элементов замены. // В сб. Автоматизация конструкторского проектирования РЭА и ЭВА. Пенза: ППИ. — 1977, С. 21—24.
5. Выгодский М.Я. Справочник по математике. М.: АСТ, Астрель, 2010. — 1056 с.
6. Григорьян С.Г. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники. М.: Феникс. Серия: Высшее образование. 2007.— 304 с.
7. Dunbury A.J. Filling the Complexity Gap. // Journ. For Angan and Manedg. In Electronics. —1977, v. 51, № 12, p. 51—57.
8. Иванов А.Л., Угрюмов Е.П. Особенности оптимизации структур комбинационных схем. // Известия ВУЗов. Приборостроение. —1980, т. 23, № 8, С. 34—37.
9. Hurst S.L. A Survey of Published Information on Universal Logic Arrays. // Microelectronics and Reliabil. — 1977, v. 16, № 6, p. 663 — 674.
10. ОСТ 4.ГО.012.021. Аппаратура радиоэлектронная. Проектирование и комплектование ЗИП. — Редакция 1 — 71.

2.3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ

Карнов Пётр Михайлович

аспирант, ВЦ РАН, г. Москва

Email: Reoser@mail.ru

При использовании какого-либо алгоритма весьма важным может являться выбор его свободных параметров. Во многих исследованиях этому вопросу уделяется недостаточно внимания: авторы зачастую ограничиваются тем, что приводят их значения без какого-либо обоснования. Ручная настройка параметров обычно является весьма трудоёмкой процедурой. В то же время многие популярные алгоритмы обладают большим количеством параметров, существенно влияющих на результаты. Отдельно следует выделить метаэвристические методы оптимизации, к числу которых принадлежит, например, Генетический Алгоритм [6]. Поэтому в последнее время наблюдается значительный интерес к систематическим и автоматизированным методам настройки параметров [1; 4].

Набор N свободных параметров обозначим $x = \{x_1, \dots, x_N\}$. Параметры могут быть численными, либо категориальными. Будем считать, что численные параметры могут принимать конечное количество заранее выбранных значений. Такой подход потенциально ограничивает точность настройки, но в то же время значительно упрощает дальнейшие рассуждения.

Настраиваемый алгоритм будем считать стохастическим, то есть дающим различные результаты при каждом запуске. Большинство метаэвристических методов оптимизации являются стохастическими в этом смысле. Пусть для настраиваемого алгоритма введена мера качества даваемых им в результате одного запуска результатов $Q(x)$. В качестве целевой функции (ЦФ) используем среднее значение качества получаемых результатов: $f(x) = \langle Q(x) \rangle$. В зависимости от задачи можно использовать и другие статистические меры, например медиану. Так как в реальности доступно лишь конечное количество запусков алгоритма,

целевая функция является лишь оценкой и обладает статистической погрешностью.

Задачу автоматической настройки таким образом определим как выбор набора параметров x , дающего наилучшее среднее качество результатов настраиваемого алгоритма. В зависимости от конкретной задачи, это может означать максимизацию или минимизацию $f(x)$. Дополнительной задачей является оценка влияния различных параметров на результаты работы алгоритма.

Выбор методики

Распространённым подходом к подобного рода задачам оптимизации и анализа влияния параметров является планирование экспериментов (Design of Experiments, DoE) [7]. Согласно DoE, следует выбрать экспериментальный план, обеспечивающий наибольшую точность результатов. В терминах этого подхода параметры именуются факторами, а их значения уровнями. Гораздо более простой методикой является изменение одного фактора за раз (one factor at a time, OFAT) и наблюдение последующих эффектов. Такая процедура состоит из следующих шагов:

инициализировать параметры случайными значениями
для каждого параметра
перебрать все значения
выбрать лучшее

Если количество возможных значений параметра i обозначить за L_i , OFAT требует $1 + \sum(L_i - 1)$ экспериментов. С точки зрения методов оптимизации, OFAT весьма близок к локальному поиску. Разница состоит в том, что первый проводит фиксированное число экспериментов, последний же работает до тех пор, пока изменение, приводящее к улучшению, не может более быть найдено.

Большинство современных авторов рекомендуют использовать DoE вместо OFAT, приводя в качестве преимуществ первого статистическую мощность и способность оценки взаимодействий факторов [2]. Однако методология DoE обладает и недостатками. Наибольшее внимание в ней уделяется экспериментальным планам с двух- и трёхуровневыми факторами. Создание планов, сочетающих факторы с произвольным количеством уровней, является весьма трудной задачей. Будучи же построены, такие планы могут требовать многократно большего числа экспериментов в сравнении с OFAT. Это ограничение является столь серьёзным, что делает методы DoE неприменимыми к задаче настройки параметров в формулировке, используемой в данной работе. Кроме того,

экспериментальное сравнение DoE с OFAT в задачах оптимизации [3] выявило, что DoE оказывается более эффективным лишь при выполнении специальных условий: случайные ошибки велики в сравнении с основными эффектами, а взаимодействие факторов является средним или слабым. В остальных случаях OFAT даёт лучшие результаты.

Предлагаемый метод

Из рассмотрения особенностей метода OFAT ясно, что его использование в качестве основы является вполне разумным. Однако его применение в чистом виде сопряжено с некоторыми трудностями. После одного прохода по всем параметрам нет никакой гарантии, что полученный результат является локально оптимальным, то есть следующий проход не даст более улучшений. Использование критерия остановки в стиле локального поиска (продолжать пока есть улучшения) невозможно из-за того, что целевая функция может обладать значительной погрешностью, приводящей к сбоям в работе такого критерия. Можно было бы ввести фиксированное количество проходов, но это ставит нас перед дилеммой: малое их число приводит к потенциально субоптимальным результатам, большое к увеличенному времени вычислений.

Сформулируем основные требования к искомому методу настройки параметров:

- *Локальная оптимальность*

Получаемые наборы параметров должны быть локально оптимальны с высокой вероятностью.

- *Толерантность к шуму*

Метод должен быть устойчив к наличию статистической погрешности целевой функции.

- *Статистическая эффективность*

Многие алгоритмы имеют высокую вычислительную стоимость. Метод настройки должен работать за разумное время, располагая лишь ограниченным числом тестовых запусков.

- *Простота*

Метод не должен содержать свободных параметров, ведь в противном случае придётся настраивать сам метод настройки.

Модификацией OFAT, соответствующей приведённым требованиям является итеративная схема с постепенным увеличением набираемой статистики:

```
инициализировать параметры случайными значениями  
M := 1  
повторять
```

```

для каждого параметра
  для каждого уровня
    произвести M запусков алгоритма
    вычислить значение ЦФ
    выбрать лучший уровень
M := k * M
пока не вышло время

```

Количество запусков алгоритма на каждой итерации таким образом растёт в геометрической прогрессии. Такая схема имеет ряд преимуществ:

- Использование множества итераций сочетается с высокой точностью конечных результатов
- Каждая итерация использует хорошее начальное решение, полученное на предыдущей итерации
- Промежуточные результаты доступны в любой момент; чем дольше время работы, тем выше точность результатов
- Высокая статистическая погрешность на начальных стадиях ведёт к случайному блужданию, что может дать эффект глобального поиска

Метод однако наследует одну из слабостей OFAT — игнорирование взаимодействия факторов. При значительной степени такого взаимодействия полученное решение может сильно отличаться от глобально оптимального. Этот недостаток может быть устранён при помощи модификаций, направленных на улучшение качества глобального поиска, например использования популяции параметров.

Попробуем выбрать наилучший коэффициент прогрессии k . Допустим, что процесс настройки был прерван и выполнена лишь часть t последней итерации. Вычислительные затраты полной последней итерации возьмём за единицу. Тогда суммарные затраты до момента прерывания составляют $k/(k-1) - 1 + t$. Максимальная погрешность ЦФ определяется количеством запусков на последней полностью завершённой итерации, то есть той, которая предшествовала прерванной. Для достижения более высокой точности необходимо максимизировать относительные вычислительные затраты на предпоследнюю итерацию. Они составляют

$$\eta(k, t) = \frac{k-1}{k(1+(k-1)t)}$$

Функция $\eta(k, t)$ достигает максимума при $k = 1 + 1/\sqrt{t}$. В худшем случае «потерянной» является почти вся последняя итерация, то есть $t = 1$, что даёт $k = 2$. Если же положить время прерывания t случайной величиной, распределённой равномерно от 0 до 1, то после усреднения по t имеем:

$$\langle \eta(k) \rangle = \int \eta(k, t) dt = \frac{\ln k}{k}$$

Эта функция соответствует относительным полезным затратам в среднем случае и достигает максимума при $k = e$.

Наконец, осталось определить порядок, в котором происходит настройка параметров. Порядок от наиболее важного к наименее важному параметру выглядит наилучшим по двум причинам. Во-первых, существенные изменения происходят как можно раньше, что положительно влияет на дальнейший процесс оптимизации. Во-вторых, после прерывания итерации в произвольный момент, самые важные параметры с высокой вероятностью уже подверглись настройке. Конечно, степень влияния параметров заранее неизвестна, но в следующей секции будет показано, что она может быть оценена непосредственно во время настройки.

Влияние параметров

Помимо нахождения оптимального набора параметров, важной задачей является оценка влияния каждого из них. Это оказывается возможным без каких-либо модификаций предложенного метода. Предположим, что поведение настраиваемого алгоритма описывается линейной моделью, то есть представимо в виде суммы вкладов отдельных факторов:

$$f(x) = b + \sum d(i, j),$$

где b глобально оптимальное значение ЦФ, а $d(i, j)$ влияние j -го значения параметра i . В случае, если все значения параметров выбирались бы случайно, среднее отклонение ЦФ от оптимального значения составило бы

$$S = \langle f(x) - b \rangle = \sum \langle d(i, j) \rangle$$

Относительный вклад каждого фактора в изменение ЦФ таким образом составляет

$$R_i = \frac{\langle d(i, j) \rangle}{S}$$

При настройке параметра i производится перебор его значений и вычисление массива ЦФ $g(i, j)$, $j = 1..L_i$. Основываясь на линейной

модели, влияние различных значений параметра i можно получить, вычтя из массива $g(i, j)$ его оптимум, то есть

$$d(i, j) = g(i, j) - \text{Opt}_{j=1}^{L_i} g(i, j),$$

где: Opt означает минимум или максимум в зависимости от задачи.

Произведённый таким образом анализ чувствительности является локальным, то есть относится лишь к полученному набору параметров. Полученная информация оказывается полезной для задачи оптимизации. Как уже говорилось, настройку параметров выгодно осуществлять в порядке убывания важности. Таким образом, перед каждой итерацией следует производить сортировку параметров по степени влияния. Перед первой итерацией порядок можно выбрать произвольным образом.

Пример использования

Для проверки предложенного метода с его помощью была произведена настройка алгоритма роевого интеллекта дискретного аналога алгоритма роя частиц [6]. Алгоритм использовался для решения задачи коммивояжёра, состоящей в нахождении кратчайшего замкнутого маршрута, проходящего через заданные точки. Были использованы точки из файла lin105 библиотеки TSPLIB [8]. Алгоритм содержит 6 параметров (табл. 1). При таких условиях полный факторный эксперимент, то есть тестирование всех возможных сочетаний, требует примерно в 140 раз большего количества вычислений ЦФ, чем одна итерация предлагаемого метода.

Таблица 1.

Параметры настраиваемого алгоритма

Параметр	Количество возможных значений
Размер популяции	8
Сила притяжения	10
Зависимость притяжения от времени	7
3 других параметра	2 значения у каждого

Сравнение различных алгоритмов приведено в таблице 2. Из результатов тестирования следует, что автоматическая настройка алгоритма роевого интеллекта позволяет добиться очень высокой эффективности.

Таблица 2.**Сравнение эффективности алгоритмов в задаче коммивояжёра**

Алгоритм	Среднее относительное отклонение длины маршрута от оптимального значения, %
Роевой интеллект, в среднем без настройки	11.8
Локальный поиск, 2-opt [5]	10.0
Симуляция отжига [6]	1.7
Роевой интеллект после настройки	0.7

В работе предложен метод автоматической настройки параметров алгоритмов. Такой метод избавляет пользователя от трудоёмкой ручной настройки и способен существенно повысить эффективность работы настраиваемого алгоритма. Вместе с выбором оптимального набора параметров осуществляется оценка влияния каждого из них. Метод обладает значительной общностью и нетребователен к количеству тестовых запусков алгоритма. Поддерживается настройка категориальных и численных параметров. Важной областью применения предложенного метода является настройка метаэвристических алгоритмов оптимизации. Его эффективность продемонстрирована на примере настройки алгоритма роевого интеллекта.

Список литературы:

1. Adenso-Diaz B., Laguna M. Fine-tuning of algorithms using fractional experimental design and local search // *Operations Research* — 2006 — 54(1) — pp. 99—114.
2. Czitrom V. One-Factor-at-a-Time versus Designed Experiments // *The American Statistician* — 1999 — 53 — pp. 126—131.
3. Frey D.D., Engelhardt F., and Greitzer E. M. A Role for One Factor at a Time Experimentation in Parameter Design // *Research in Engineering Design* — 2003 — 14 — pp. 65—74.
4. Hutter F., Hoos H. H., & Stutzle T. Automatic algorithm configuration based on local search // *Proceedings of the Twenty-second National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'07)* — AAAI Press / The MIT Press, — Menlo Park, CA, USA, 2007. — pp. 1152—1157
5. Nilsson C. Heuristics for the Traveling Salesman Problem // *Tech. Report, Linköping University, Sweden, 2003*. URL: www.ida.liu.se/~TDDDB19/reports_2003/htsp.pdf
6. Sean Luke, *Essentials of Metaheuristics*. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/>
7. Telford J.K. A Brief Introduction to Design of Experiments // *Johns Hopkins APL Technical Digest* — 2007 — 27 — pp. 224—232.
8. TSPLIB. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://comopt.ifl.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>

КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНОЙ HRM-СИСТЕМЕ

Самутичев Константин Викторович

*инженер, АСУПФГУП «Горно-химический комбинат»,
г. Железногорск*

Порфирьев Александр Николаевич

*руководитель группы, ФГУП «Горно-химический комбинат»,
г. Железногорск*

E-mail: konstantin_kot@bk.ru

Не является секретом, что, персонал является фундаментом успеха любой организации. Для успешного ведения бизнеса необходимо быстро и качественно управлять всеми ресурсами, занятыми в бизнес-процессах предприятия. Одним из них является работа по управлению персоналом, к которой имеют прямое отношение кадровая служба, служба по организации труда, бухгалтерская служба (в части расчёта материального вознаграждения и платежей, связанных с ними) и некоторые другие. Качественное управление персоналом невозможно без быстрого и своевременного выполнения конкретных действий, таких как оформление трудового договора, проведение приказа о приёме, получение аналитического отчёта о численности, текущее штатное расписание и т. п. Для автоматизации выполнения подобных бизнес-процессов на предприятиях применяют различные корпоративные системы.

Значительную часть времени для автоматизации бизнес-процессов на предприятиях использовали собственные автоматизированные системы управления (далее по тексту — АСУ). Не стала исключением и деятельность кадровой службы. Как правило, АСУ, разработанные на предприятиях, не отличались глубокой интеграцией процессов. Например, работа с персоналом: учёт персонала; ведение табельного учёта; расчёт заработной платы выполнялись в разных АСУ.

Для каждой АСУ работала своя собственная система разграничения доступа пользователей. Доступ пользователей мог разграничиваться на одном или нескольких уровнях: файловая система; база данных; приложение (клиентского или серверного). Из-за отсутствия единообразия предоставления доступа, а также усложнения систем разграничения доступа и повышения трудоёмкости их предоставления в АСУ понижалась общая безопасность данных.

Со временем, на смену АСУ, относящихся прямо или косвенно к кадровой службе, пришли первые полноценные системы управления

человеческими ресурсами (human resource management, HRM — далее по тексту), которые охватывали бы всевозможные аспекты работы с персоналом, начали появляться на российском рынке с моментом прихода на него западных компаний.

Под HRM-системой понимается автоматизированная комплексная система управления персоналом. По сравнению с традиционными АСУ, использовавшимися на предприятиях, HRM-системы обладают расширенной функциональностью. Данная функциональность включает в себя:

- учётные процессы (кадровый и воинский учёт, штатное расписание, кадровый документооборот, учёт табельного времени, учёт отпусков, пенсионный учёт и др.);
- расчётные процессы (расчёт заработной платы, налоговые выплаты, надбавки, вычеты и др.);
- отчётные процессы (количественные показатели, связанные с учётной и расчётной деятельностью).

Автоматизация работы кадровой службы в последние годы становится одной из самых популярных задач, решаемых российскими предприятиями.

Для того чтобы HRM-система считалась полноценной, её неотъемлемой частью должна быть функциональность, обеспечивающая решение по разграничению доступа пользователей к необходимой информации.

Современные требования к обеспечению конфиденциальности данных в корпоративных системах диктуют свои условия — например, пользователи HRM-системы должны видеть данные по персоналу только своего подразделения, кадровая служба может работать только с приказами, относящимися к персоналу, а не к структуре предприятия, а доступ к военно-учётной информации должен иметь только один человек на предприятии. Таких примеров большое множество. И зачастую, ввиду сложности HRM-систем, одним разграничением доступа к таблицам не обойтись — необходимо дополнительно разграничивать доступ в таблице по столбцам и строкам.

При использовании двухзвенной архитектуры корпоративной системы, наибольшую нагрузку при обработке информации должна принимать на себя система управления базами данных (далее по тексту СУБД), то есть все операции, связанные с корпоративной системой, должны выполняться на сервере СУБД, а не в клиентском приложении.

В основе HRM-системы, для которой разрабатывалась система разграничения доступа, лежит СУБД Oracle. Разработанная система разграничения доступа работает на основе технологии «виртуальных

частных баз данных» - Oracle Virtual Private Database (далее по тексту, Oracle VPD). Oracle VPD позволяет создавать политики безопасности для управления доступами базы данных на уровне строк и столбцов. Технически, Oracle VPD добавляет динамическое предложение «WHERE» в SQL-предложение перед обращением к таблице, представлению или синониму, на которые установлены политики безопасности [1].

Рассмотрим составляющие компоненты разработанной системы разграничения доступа.

Словарь данных — это функциональный модуль, содержащий в себе системную информацию о бизнес-объектах HRM-системы и их составляющих, то есть информацию о таблицах, относящихся к основной функциональности HRM-системы (учёт кадров, заработной платы и т. д.), их структуре, о связях между таблицами.

Право доступа — это разрешение или запрет на операцию DML к таблице HRM-системы.

На основании словаря данных, в таблицах, принадлежащих к модулю администрирования, изначально формируются технические роли — нижний уровень системы разграничения доступа.

Техническая роль — это минимально возможная единица системы доступа, определяющая набор прав доступа к одной таблице HRM-системы. Отношение между технической ролью и таблицей HRM-системы определяется как один-к-одному. Именно на уровне технической роли разграничивается доступ к таблице.

На таблицу может быть создана одна техническая роль только на чтение и одна техническая роль на чтение и запись. Обязательным условием работоспособности технических ролей в системе разграничения доступа является условие установки на таблицу, для которой создана техническая роль, объекта СУБД Oracle — Policies (политика безопасности) на чтение, изменение, обновление и удаление.

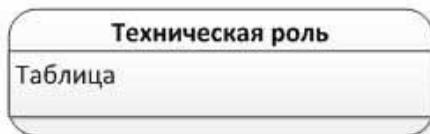


Рисунок 1. Состав технической роли

Следующий уровень системы разграничения доступа — функциональные роли. Функциональная роль — это компонент системы доступа, предоставляющий доступ к какому-либо бизнес-процессу (расчёт заработной платы, приём сотрудника на предприятия и т.п.) или

бизнес-функции HRM-системы, то есть включающий в себя набор необходимых технических ролей. В функциональные роли может входить n технических ролей.



Рисунок 2. Состав функциональной роли

Групповая роль — это верхний уровень системы разграничения доступа, обеспечивающий доступ к нескольким бизнес-процессам, то есть включающий в себя набор функциональных ролей. Групповая роль назначается конкретному пользователю HRM-системы и представляет собой набор функциональных ролей и, дополнительно, ограничение по разрезу данных.

Разрез данных — это доступ на конкретные данные из одной или нескольких таблиц HRM-системы. Например, разрешение на работу только с приказом о приёме или с данными, относящимися к подразделению главной бухгалтерии. Назначается только на уровне групповой роли. Групповая роль может иметь несколько разрезов данных.

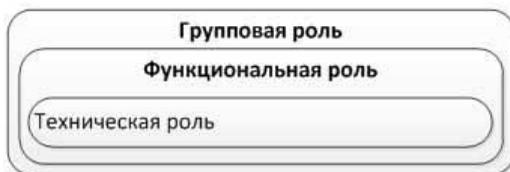


Рисунок 3. Состав групповой роли

Пакет системы разграничения доступа — это набор процедур, который на основании информации, содержащейся в словаре данных, формирует предикат, который далее в механизме Oracle VPD СУБД Oracle будет подставлять в условие в DML-запросах. Является обязательным компонентом системы разграничения доступа.

Предикат — это дополнительное условие на языке SQL, предназначенное для ограничения выборки информации, производимой из базы данных.

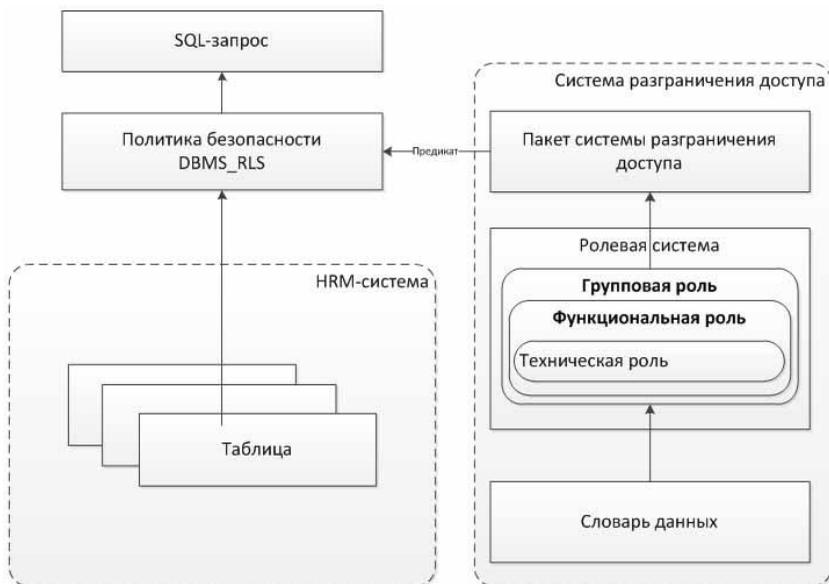


Рисунок 4 Схема работы системы разграничения доступа

За любым действием пользователя в HRM-системе следует SQL-запрос. При выполнении SQL-запроса происходит обращение к данным таблиц, при котором проверяется наличие доступа у пользователя. Для проверки доступа системой разграничения доступа выполняется поиск данной таблицы в словаре данных, затем технической роли для данной таблицы, далее функциональной и далее групповой. Если по данной цепочке у групповой роли, назначенной пользователю, имеется доступ к данной таблице на необходимое действие, то SQL-запрос возвращает результат.

Преимущества данной системы разграничения доступа заключаются в следующем:

- возможность гибкой настройки доступа

Пользователю можно предоставить доступ только к бизнес-процессам, выполняемым по его должностной инструкции.

- использование стандартных средств СУБД Oracle

Разграничение доступа выполняется на уровне СУБД.

- распространение на все SQL-запросы

Система разграничения доступа будет функционировать независимо от того, из какого приложения происходит работа с данными.

Недостатки данной системы разграничения доступа следующие:

- замедление скорости выполнения SQL-запросов

В связи с формированием предиката для каждой таблицы, используемой в запросе:

- повышение трудоёмкости ведения HRM-системы

Дополнительно необходимо следить за наличием политик безопасности для каждой таблицы и всех компонентов системы разграничения доступа.

Список литературы:

1. Oracle Database Security Guide 11g Release 1 (11.1). Part number B28531—16.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ

Чанкин Антон Александрович

ведущий специалист по информационным технологиям,

ООО «ЭПП «Пойма», г. Москва

E-mail: chankin.anton@gmail.com

В настоящее время нейросетевые технологии являются популярным инструментом при проведении научных исследованиях. С их помощью производится обработка результатов экспериментов, распознавание изображений, нейросетевые методы data-mining, позволяют находить закономерности в больших объемах данных.

Одной из моделей подобных сетей являются самоорганизующиеся карты Кохонена. Наиболее успешно с их помощью решаются задачи кластеризации массивов данных и построения контекстных карт признаков [5].

Принцип работы самоорганизующихся карт Кохонена в некотором смысле повторяет один из способов обработки информации головным мозгом — модель отображения признаков. Такие сенсорные входы, как нервные окончания зрения, слуха, тактильной системы топологически упорядоченно отображаются на соответствующие области коры

головного мозга. Модель Кохонена не концентрируется на нейробиологических особенностях и является более общей в том смысле, что осуществляет отображение многомерного входного пространства на двумерное (реже одномерное) выходное пространство, т. е. проводит сжатие данных.

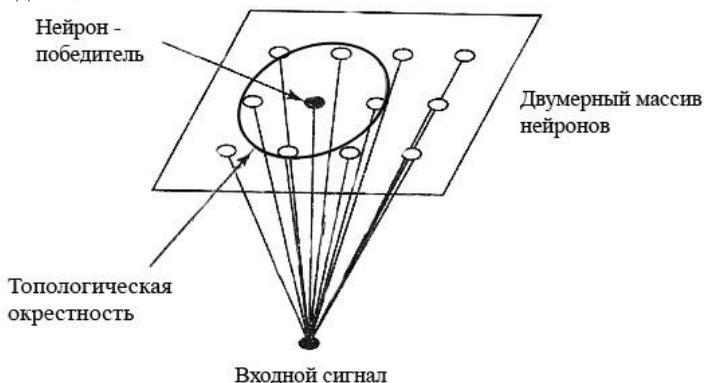


Рисунок 1. Модель работы самоорганизующихся карт

Модель самоорганизующихся карт (Рис. 1) принадлежит к классу нейронных сетей с обучением без учителя. В этом алгоритме не существует примеров, по которым проводится обучение, присутствует лишь некая мера качества, согласно которой настраиваются параметры сети.

Плюсом таких моделей является их близость к естественным методам обработки информации, поскольку трудно представить существование в головном мозге некоего механизма, сравнивающего получаемую информацию с существующими образцами.

Самоорганизующиеся карты реализуют правило конкурентного обучения — нейрон, наиболее «близкий» к входящему вектору, назначается победителем и переходит в активное состояние. Победитель определяет топологическую окрестность, в которой производится корректировка соответствующих возбуждаемых нейронов. Таким образом, происходит упорядочивание нейронов в виде значимой системы координат [8].

Классический алгоритм обучения самоорганизующихся карт [5] выглядит следующим образом:

1. *Инициализация.* Вначале случайными значениями инициализируются исходные вектора синаптических весов $w_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{is}\}$, где s — размерность входящего вектора.

2. *Подвыборка.* Выбор вектора $x = \{x_1, x_2, \dots, x_s\}$ из входного пространства с определенной вероятностью. Вектор представляет собой возбуждение, которое применяется к решетке нейронов.

3. *Поиск максимального подобия.* Производится поиск наиболее подходящего (победившего) нейрона $c(x)$, используя критерий минимума Евклидова расстояния

$$c(x) = \arg \min_j \|x - w_j\|$$

4. *Коррекция.* Корректировка весов нейронов, входящих в окрестность $h(d,t)$ вектора-победителя, производится по следующей формуле (для j -го веса i -го нейрона)

$$w_j(t+1) = w_j(t) + \alpha_i(t)h(d,t)(x_j - w_{ij}(t))$$

где $\alpha(t)$ — коэффициент скорости обучения, зависящий от времени. Он принимает значения в области от 0 до 1. Значение α должно уменьшаться со временем, однако нет определенного закона, по которому должно происходить это уменьшение. В нашем случае коэффициент скорости обучения рассчитывался как:

$$\alpha_i = \alpha_0 \exp^{-\frac{i}{t}}$$

где i — номер итерации, t — общее количество итерации обучающего алгоритма.

В качестве функции окрестности нами использовалась гауссовская функция окрестности,

$$h(d,t) = \begin{cases} 0, & \text{при } d \geq \sigma(t) \\ e^{-\frac{d}{2\sigma(t)}}, & \text{при } d < \sigma(t) \end{cases}$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 * e^{-\frac{t}{\mu}}$$

где d — расстояние на координатной сетке между текущим нейроном и нейроном-победителем,

σ_0 - константа,

$\mu = \frac{n}{\log_{10}(\sigma_0)}$ где n — максимальное количество итераций.

5. *Продолжение.* Происходит возврат к шагу 2, вычисления продолжаются до тех пор, пока в карте признаков не перестанут происходить заметные изменения.

Обучение искусственной нейронной сети может быть очень времязатратным. Для настройки сети под определенную задачу требуется подобрать несколько определённых параметров. Значения этих параметров часто находятся методом проб и ошибок. Даже после того, как размер сети определен, обучаемая сеть может не давать приемлемого результата, и нужно будет проводить новое обучение. Каждый из таких

сеансов может занять много времени, как вычислительного, так и реального, что в условиях многих задач может быть неприемлемым.

Одним из методов понижения подобных временных затрат является использование параллельной обработки, при которой несколько обрабатываемых элементов одновременно участвуют в производимых вычислениях.

Возможные способы параллелизации.

Согласно Нордстрёму [9] существует 5 методов параллелизации фазы обучения ИНС. В равной степени это относится и к модели саморганизующихся карт, однако эффективность применения того или иного метода для СОК может значительно отличаться. Приведем список этих методов с кратким описанием принципов параллелизации.

1. Параллелизация фазы обучения

При решении задачи с помощью нейронной сети обычно проводится множество экспериментов с целью установления необходимых параметров, таких как параметр скорости обучения и количество нейронов в различных слоях. С использованием параллелизации фазы обучения несколько различных конфигураций нейронной сети могут быть исследованы одновременно. Единственное различие между двумя фазами обучения будет состоять в параметре скорости обучения.

При использовании параллелизации фазы обучения линейный прирост быстродействия легко достижим, поскольку исчезает необходимость межпроцессорного взаимодействия. Поскольку этот метод является достаточно тривиальным, он не будет рассмотрен в дальнейшем.

2. Параллелизация обучающей выборки

Часто размер обучающей выборки применительно к задаче, решаемой с помощью нейронных сетей, может быть достаточно большим. В однопоточной системе обучающие вектора будут направлены в сеть по одному. В параллельной системе эти обучающие вектора можно разделить между процессорами. Тогда каждому процессору необходима полная копия нейронной сети. Таким образом, процессоры могут обучаться одновременно на разных обучающих выборках.

3. Параллелизация на уровне слоя.

В таких моделях ИНС как сеть с обратным распространением ошибки и неоконгитрон, обучающие вектора проходят через сеть по принципу конвейера. Таким образом, несколько обучающих векторов могут находиться в сети одновременно.

В отличие от вышеперечисленных, самоорганизующиеся карты не являются многослойной моделью, кроме случая, когда распространение обучающих векторов представлено в виде слоя. Поскольку входной слой не производит никаких вычислений, то при распределении

вычислительных ресурсов входного слоя нельзя достигнуть никакого прироста производительности.

4. Параллелизация на уровне нейрона

Параллелизация на уровне нейрона является наиболее очевидной из присутствующих в модели нейронной сети, поскольку нейрон как обрабатывающий элемент нейронной сети аналогичен отдельному процессору. Параллелизм на уровне нейрона состоит в разделении нейронов (внутри слоя, если используется модель с несколькими слоями) среди процессоров, и последующем параллельном вычислении. Один или более нейронов сопоставляются с каждым процессором. Параллелизация на уровне нейрона присутствует во всех моделях нейронных сетей, и это наиболее популярный метод в большинстве параллельных реализаций, вне зависимости от используемой модели нейронной сети.

5. Параллелизация на уровне весов.

Вычисления в пределах нейрона также могут быть разделены между несколькими процессорами. Это очень мелко модульный параллелизм и он в первую очередь представлен в аппаратных реализациях.

Технологии реализации параллельных алгоритмов ИНС.

Почти все вышеописанные методы параллелизации успешно используются для ускорения работы алгоритмов нейронных сетей. Для реализаций используются как постоянно наращивающие мощность высокопроизводительные суперкомпьютеры, так и нейрокомпьютеры, функционирующие на отличных от фон-неймановского вычислительных принципах.

Суперкомпьютеры являются наиболее распространенным решением для реализаций различных моделей нейронных сетей. С различной эффективностью для высокопроизводительных вычислений используются массивно-параллельные машины, вычислительные кластеры с производительностью в несколько тысяч Gflops [10].

Реализации на нейрочипах являются куда менее распространенным решением, в первую очередь за счет своей высокой стоимости. В настоящее время на рынке отсутствуют массово доступные нейрочипы, большинство их разработок производится на заказ, для выполнения специфических задач, что делает их малодоступными для рядового пользователя [1].

Но и многопроцессорные системы также зачастую являются решением, подходящим только для крупных научных центров. Кроме того, за счет узкоспециализированности большинства решений сильно затрудняется возможность их масштабирования и использования для более широкого класса задач.

Однако существует технология, позволяющая осуществлять высокопроизводительные вычисления с помощью средств, находящихся практически в каждом современном ПК. Речь идет о технологии GPGPU, в перевод с англ. General-purpose graphics processing units — графические процессоры общего назначения. Первоначально графические процессоры использовались только для обработки компьютерной графики, и для того, чтобы осуществить сторонние вычисления, были необходимы специфические знания и навыки программирования трехмерной графики.

Технология CUDA является программно-аппаратной архитектурой, позволяющей программисту писать полнофункциональные приложения с использованием дополнительной библиотеки CUDA C, без дополнительного изучения принципов и алгоритмов обработки компьютерной графики.

К настоящему времени продано более 128 миллионов графических процессоров, поддерживающих технологию CUDA. NVIDIA предлагает широкий выбор устройств, от мощных графических процессоров Tesla, стоимостью в несколько тысяч долларов и сконструированных специально для высокопроизводительных вычислений, до дискретных видеокарт ION для портативных компьютеров, на которых также возможно достичь небольшого прироста скорости по сравнению с вычислениями на CPU [2]. Для наших целей была выбрана оптимальная по соотношению цены и производительности видеокарта GeForce GTX 680 с памятью 2048 MB, 256-bit GDDR5 [3].

Основные принципы технологии CUDA

Архитектура CUDA спроектирована в виде масштабируемого массива многопоточных мультипроцессоров (Streaming Multiprocessors). Используемая в нашем эксперименте видеокарта GTX680 содержит 1526 CUDA ядер, объединенных в 8 мультипроцессоров. Определяющий принцип архитектуры CUDA состоит в том, что GPU (обозначаемое как device) выступает в роли массивно-параллельного сопроцессора к CPU (используется термин host). При этом последовательный код выполняется на CPU, а для параллельных вычислений соответствующий код выполняется на GPU N раз на N параллельных нитях. Функции, выполняемые параллельно на всех нитях GPU носят название ядер (kernel), и представляют собой расширенные функции языка C.

В основе идеи библиотеки расширений языка C для CUDA лежат три абстрактных понятия — иерархия групп нитей, разделение памяти и барьерная синхронизация. API интерфейс CUDA скрывает все сложности создания нитей и генерирует легковесные нити для обработки на ядрах CUDA, всего лишь основываясь на вызове функции. Однако общее количество нитей и их загрузка в мультипроцессорах целиком

зависят от вызова API. Здесь кроется основная сложность, требующая значительных усилий, чтобы использовать GPU на пике возможностей и достичь наилучшей производительности [12].

CPU взаимодействует с GPU для создания, выполнения и прекращения работы ядра. В нашем случае GPU и CPU работают в блокирующем режиме. В этом режиме CPU запускает одно ядро и ждет до полного окончания его выполнения.

Верхний уровень организации соответствует всем нитям, выполняющим данное ядро. Для его обозначения используется термин «сетка» - grid. Сетка представляет собой одномерный или двумерный массив блоков. Каждый блок — это одномерный, двумерный или трехмерный массив нитей, в блоке их может содержаться до 512. Все блоки, образующие сетку, имеют одинаковую размерность (максимальная поддерживаемая размерность для GTX680 составляет 1024 x 1024 x 64). Каждый блок в сетке имеет свой адрес, индекс блока в сети, также как и нить имеет свой индекс внутри блока.

Когда мультипроцессор получает один или несколько блоков нитей для выполнения (в GTX680 на каждом мультипроцессоре может выполняться одновременно до 2048 нитей), он разделяет их на группы по 32 нити - warp'ы, каждый warp с помощью warp-планировщика получает свою очередь на выполнение. При этом только нити в пределах одного warp'a выполняются физически одновременно. Нити из разных warp'ов могут находиться на разных стадиях выполнения программы, что нужно учитывать при написании программы, вызываемые нити не должны зависеть от результатов работы друг друга.

Блоки могут выполняться в произвольном порядке, одновременно или последовательно, в зависимости от ресурсов системы. Такая масштабируемость происходит за счет ограничений в коммуникации между нитями. В этом и заключается принцип разделения памяти по уровням доступа.

Каждая нить имеет собственный, доступный только ей небольшой участок памяти, называемый локальной памятью (local memory). Также все нити внутри одного блока могут общаться друг с другом с помощью так называемой разделяемой памяти (shared memory) с низкой задержкой. Более объемная общая память (global memory) имеет высокую задержку и является доступной из CPU, таким образом, являясь единственным каналом сообщения между CPU и GPU.

Кроме того, существует ещё два дополнительных вида памяти, открытых только для чтения и доступных для всех нитей. Это так называемые константная и текстурная память, оптимизированные для некоторых специфических форматов данных.

Механизм взаимодействия нитей друг с другом, барьерная синхронизация в CUDA реализован при помощи встроенной функции `_syncthreads()` [7]. Ей обозначаются точки синхронизации в ядре. Она запрещает нитям выполнение дальнейших команд до тех пор, пока все нити не войдут в эту функцию.

Описание реализации параллельного алгоритма.

В разработанном нами алгоритме используется одновременно два принципа параллелизации, как на уровне нейрона, так и мелко модульная параллелизация на уровне весов. В классическом алгоритме обучения самоорганизующихся карт мы выделяем подэтапы, которые являются потенциально параллелизуемыми. Они характеризуются большим количеством независимых друг от друга простых вычислений. Для нашей реализации было выделено три подобных подэтапа:

1. Расчет расстояния между входящим вектором и нейронами сети;
2. Расчет расстояния на сетке между нейроном-победителем и остальными нейронами сети, для определения области корректировки;
3. Корректировка отдельных весов нейронов, входящих в окрестность.

На блок-схеме алгоритма на рисунке 2 можно увидеть, как такое разделение отображается в архитектуре программы как принцип организации ядер CUDA.



Рисунок 2. Блок-схема алгоритма

Безусловно, можно выделить ещё несколько подэтапов с подобными характеристиками. Однако в остальных случаях их параллельная реализация не даст ощутимого прироста скорости. Примером может служить инициализация векторов синаптических весов нейронов, которая осуществляется один раз за все время работы сети. Её параллельная реализация дает пренебрежимо малый прирост быстродействия.

Работа ядер $fv_distance_kernel$, $xu_distance_kernel$ и $nodes_update_kernel$ осуществляется по единому принципу. Каждой нити выделяется элемент нейронной сети, или, в случае ядра $fv_distance_kernel$, отдельные веса нейронов. Затем по заданной формуле на каждой нити вычисляется результат для выделенного элемента, полученное значение записывается в соответствующий массив данных для последующей обработки.

Этап корректировки весов является потенциально параллелизуемым на уровне весов, поскольку для каждого веса корректировка рассчитывается независимо. Теоретически это должно ускорить работу алгоритма. Однако в нашем случае каждой нити выделяется не вес, а весь нейрон целиком, с последовательной коррекцией весов каждого нейрона

на одной нити. Это сделано во избежание дивергенции потока управления — просто большого количества нитей, созданных перед условным выбором [4].

Четвертое ядро *bmu_search_kernel* отличается от других ядер тем, что оно представляет собой не параллелизацию подэтапа алгоритма, а отдельную функцию.

Редукция массива реализуется следующим образом — для массива $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, проводится попарное сравнение элементов $\{x_i, x_{i+\frac{n}{2}}\}$, для $i = 1, 2, \dots, \frac{n}{2}$. Если $x_{i+\frac{n}{2}} < x_i$, i -ый заменяется элементом $i + \frac{n}{2}$. Далее процедура повторяется для подмассива $X' = \{x_1, x_2, \dots, x_{\frac{n}{2}}\}$. В случае, если n нечетно, элемент x_n добавляется в X' . Этот процесс повторяется до тех пор, пока подмассив не уменьшится до единичной длины.

На рисунке 3 представлена схема работы алгоритма редукции массива

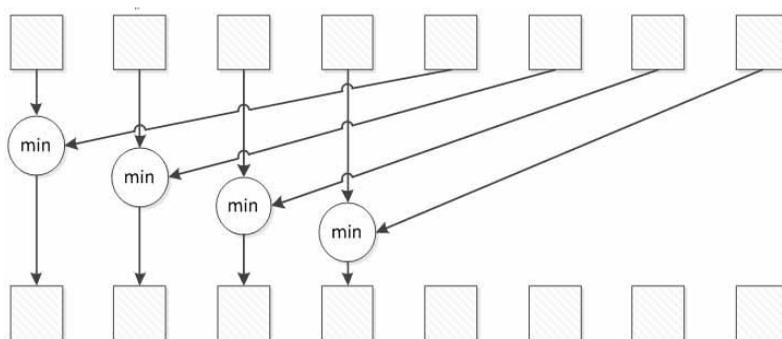


Рисунок 3. Схематическое изображение редукции массива

Тестовые результаты.

Программная реализация нашего алгоритма была запущена на нескольких тестовых примерах. Чтобы оценить прирост производительности, на аналогичных тестах также запускалась CPU версия алгоритма, написанная на стандартном языке C.

В экспериментах использовался ПК со следующими техническими характеристиками: процессор Intel Core i7 920 (4 ядра по 2.67GHz), на операционной системе Windows 7 64-bit. В качестве графического процессора использовалась вышеописанная видеокарта NVIDIA GeForce GTX 680. Компиляция параллельной и последовательной версий осуществлялась в Microsoft Visual Studio 2010, для параллельной версии

использовалась надстройка NVIDIA Parallel Nsight v.2.1 и программный пакет NVIDIA CUDA Toolkit v4.2.

Для проведения тестов были выбраны три конфигурации сети: размерности карт составляли 25x25, 50x50 и 100x100 нейронов. Тестовый массив входных обучающих векторов для каждой карты состоял из 60000 векторов размерности 100. Обучающая выборка генерировалась случайным образом по нормальному распределению со значениями в интервале от нуля до единицы не включительно. Для каждой конфигурации производилось 50 последовательных запусков CPU и CUDA алгоритмов. Результаты тестов отображены на рисунке 4.

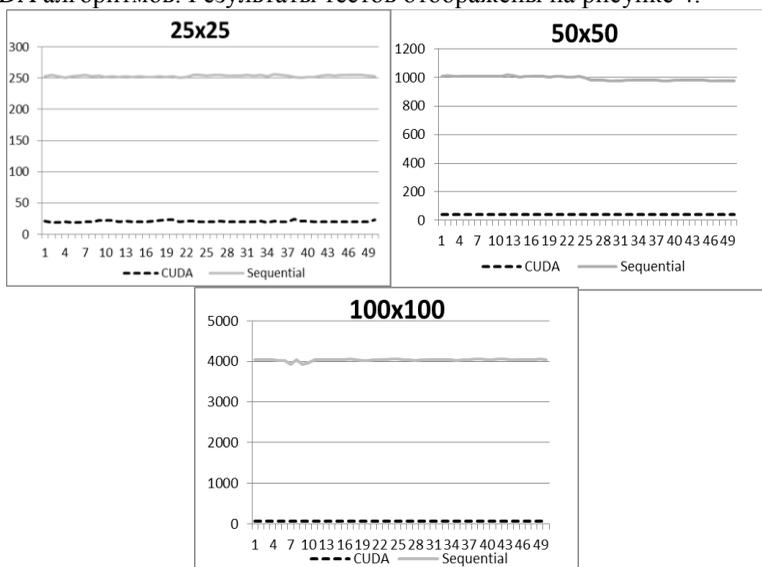


Рисунок 4. Результаты работы алгоритмов на различных конфигурациях сети.

Средний прирост скорости обучения относительно последовательной версии алгоритма для карты размера 25x25 нейронов составил 12.39 раз, для карты размера 50x50 нейронов 24.27 раз, а для карты размера 100x100 нейронов 55.78 раз.

В статье нами была описана эффективная методика ускорения большого объема вычислений, который неизбежно возникает в процессе решения реальных задач.

По результатам проведенных тестов с ростом размера задачи прослеживается и рост эффективности применения нашей методики параллелизации. Это связано с тем, что в параллельной версии обучающего

алгоритма сети Кохонена с увеличением количества нейронов, количество выполняемых последовательно вычислений остается прежним. А для версии алгоритма, выполняемой на CPU, общее количество вычислений растет пропорционально увеличению размерности карты, что в итоге приводит к весьма ощутимому замедлению работы алгоритма.

Технология CUDA применима не только для модели самоорганизующихся карт, но и для других ИНС, в которых имеются потенциально параллелизуемые структуры [6]. Таким образом, при условии, что будет соблюдена технология работы с памятью, архитектура CUDA является перспективным методом распараллеливания врезматратных алгоритмов работы нейронных сетей.

Кроме того, поскольку основной код алгоритма написан на языке C с добавлением некоторых функций из библиотеки CUDA. Это позволяет адаптировать его для работы с недавно анонсированной компанией Microsoft технологией параллельного программирования C++ AMP [11], что даёт новые возможности для дальнейших исследований в этой области.

Список литературы:

1. Калигин Д. Использование технологии CUDA фирмы NVIDIA для САПР нейронных сетей // Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление», том 4, 1999. URL: www.gyravlenie.ru (Дата обращения 21.05.2012)
2. Официальный сайт компании NVIDIA. Раздел Продукты с поддержкой NVIDIA CUDA// http://www.nvidia.ru/object/cuda_gpus_ru.html (Дата обращения 21.05.2012)
3. Официальный сайт компании NVIDIA. Технические характеристики графической карты NVIDIA GeForce GTX 680 // <http://www.nvidia.ru/object/geforce-gtx-680-ru.html#pdpContent=2>
4. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров: Пер. с англ. — М.: ДМК Пресс, 2011.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2008
6. Чанкин А.А. Реализация алгоритма прогнозирования временных рядов при помощи интервальной нейронной сети. Сб. трудов XIV Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии». 2011 — М.: МГУПИ. 2011, С. 64-73.
7. CUDA API Reference Manual v.4.2 // http://developer.download.nvidia.com/compute/DevZone/docs/html/C/doc/CUDA_Toolkit_Reference_Manual.pdf

8. Kohonen T. “The self-organizing map”, Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics, 1990, vol. 78, p. 1464 — 1480
9. Nordstrom T. Designing parallel computers for self-organizing maps. Forth Swedish Workshop on Computer System Architecture, Linkoping, 1992. [Труды конференции]
10. D. Valencia, A. Plaza, P. Martinez and J. Plaza. Parallel Processing of High-Dimensional Remote Sensing Images Using Cluster Computer Architectures // International Journal of Computers and their Applications, USA, NC, Cary, March 2007, vol. 14, no. 1, pp. 23 — 34
11. Анонс о выходе C++ AMP в официальном блоге компании Microsoft // <http://blogs.msdn.com/b/vcblog/archive/2011/06/15/introducing-amp.aspx>
12. Руководство по программированию на CUDA C вер. 4.1 // CUDA C Programming Guide v.4.1. // http://developer.download.nvidia.com/compute/DevZone/docs/html/C/doc/CUDA_C_Programming_Guide.pdf

2.4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, КОМПЛЕКСЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Логунова Елена Александровна

*аспирант кафедры «Вычислительная техника» филиал ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске*

Система поддержки принятия решений (СППР) — компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях, для полного и объективного анализа предметной деятельности.

Для анализа и выработок предположений в СППР используются разные методы: информационный поиск интеллектуальный анализ данных, поиск значений в базах данных, рассуждение на основе прецедентов, имитационное моделирование эволюционные вычисление и генетические алгоритмы нейронные сети, ситуационный анализ, коллективное моделирование, методы искусственного интеллекта.

Рассмотрим некоторые из этих методов.

Генетические алгоритмы

Генетический алгоритм был предложен более 20 лет назад Джоном Холландом. Генетический алгоритм реализует метод случайного поиска по аналогии с теорией эволюции Дарвина. Основан на естественном отборе — основном механизме эволюции, работающем по принципу «выживает наиболее приспособленный». Подражая этому процессу, генетический алгоритм дает возможность находить близкие к оптимальным решения задачи.

Суть алгоритма. Алгоритм управляет набором представителей, которые могут рассматриваться как возможные решения поставленной задачи. Отобранные на каждом шаге лучшие представители перемешиваются («скрещиваются») между собой, производя «мутантов». От полученных таким образом новых представителей ожидают еще более хороших результатов. Процесс повторяется несколько раз, пока не будет достигнуто целевое значение.

Схема генетического алгоритма описана в [8].

Достоинства применения алгоритма:

1. применяется для решения сложных неформализованных задач, для которых не разработано специальных методов;
2. имеет преимущества перед другими алгоритмами при очень больших размерах задач и отсутствия упорядоченности в исходных данных;
3. алгоритм выполняется существенно быстрее других алгоритмов поиска на большом пространстве значений и значительно экономит память компьютера.

Недостатки алгоритма:

1. генетический алгоритм не гарантирует, что найденное решение будет оптимальным (приемлем для поиска «достаточно хорошего» решения задачи за «достаточно короткое время»);
2. в случаях, когда задача может быть решена специально разработанным для неё методом, практически всегда такие методы будут эффективнее генетического алгоритма как по быстрдействию, так и по точности найденных решений;
3. неэффективен на небольшом пространстве поиска.

Имитационное моделирование

Сущность метода имитационного моделирования описана в [10].

Имитационный подход к построению СППР основан на многоэтапной процедуре принятия решения, включающей этапы:

1. выявление структурных особенностей в поступаемых в ходе мониторинга данных с применением концепции Хранилища данных и анализа тенденций;
2. визуализация выявленных в данных зависимостей с помощью средств интеллектуального анализа данных и OLAP-технологий.

Основой процедуры принятия решений в таких системах выступает обобщённая модель объекта исследования, реализуемая в СППР на основе комплекса взаимосвязанных имитационных и оптимизационных моделей с развитыми динамическими и информационными связями между моделями всех уровней.

Эксперт активно участвует в процессе принятия решения: детализирует проблему и модель, осуществляет генерацию альтернатив, постановку направленного вычислительного эксперимента на имитационной модели, выбор и ранжирование критериев. Кроме того, технология имитационного моделирования позволяет учитывать субъективные предпочтения эксперта и его опыт в вопросе принятия решения [6].

Достоинства имитационного моделирования:

1. имитационная модель позволяет точно и адекватно описать моделируемый процесс;
2. имитационная модель обладает гибкостью варьирования структуры, алгоритмов и параметров системы.

Недостатки имитационного моделирования:

1. решение, полученное на имитационной модели, всегда носит частный характер, так как оно соответствует фиксированным элементам структуры, алгоритмам поведения и значениями параметров системы;
2. большие трудозатраты на создание модели и проведение экспериментов, а также обработку результатов.

Когнитивное моделирование

Системы, для которых характерны многоаспектность происходящих в них процессов и их взаимосвязанность, отсутствие достаточной количественной информации о динамике процессов, а также изменчивость характера процессов во времени, принято считать слабоструктурированными.

Такие системы с успехом строятся с использованием средств когнитивного моделирования.

В рамках когнитивной модели информация о системе представляется в виде набора понятий и связывающей их причинно-следственной сети, называемой когнитивной картой, которая является отражением субъективных представлений эксперта о законах и закономерностях, присущих моделируемой системе. К когнитивной карте применяются методы аналитической обработки, ориентированные на исследование структуры системы и получение прогнозов её поведения при различных управляющих воздействиях, с целью синтеза эффективных стратегий управления [5].

Основные понятия и этапы когнитивного моделирования изложены в [1; 7; 9].

Недостатки когнитивного моделирования:

1. ограниченность применения;
2. невозможность численного моделирования поведения систем, так как результаты получаются качественными.

Рассуждение на основе прецедентов

Применение метода для решения задач оправдано в случае выполнения следующих условий:

1. подобные задачи должны иметь подобные решения (принцип регулярности);
2. виды задач, с которыми сталкивается решатель, должны иметь тенденции к повторению.

Основной целью использования аппарата прецедентов в СППР является выдача готового решения ЛПР для текущей ситуации на основе прецедентов, которые уже имели место в прошлом при управлении данным объектом или процессом.

Суть метода. Поиск решения на основе прецедентов заключается в определении степени сходства текущей ситуации с ситуациями прецедентов из базы правил (БП). При этом учитываются веса параметров для ситуации из БП, заданные экспертом. Степень сходства зависит от близости текущей ситуации к ситуации прецедента.

Рассуждение на основе прецедентов может не привести к необходимому решению возникшей проблемной ситуации, например, в случае отсутствия подобной ситуации в БП. Поэтому необходимо предусмотреть пополнение БП в процессе рассуждения (вывода) [3].

К преимуществам рассуждений на основе прецедентов можно отнести следующие аспекты:

1. возможность напрямую использовать опыт, накопленный системой без интенсивного привлечения эксперта в той или иной предметной области;

2. возможность сокращения времени поиска решения поставленной задачи за счет использования уже имеющегося решения для подобной задачи;

3. существует возможность исключить повторное получение ошибочного решения;

4. отсутствует необходимость полного и углубленного рассмотрения знаний о конкретной предметной области;

5. возможно применение эвристик, повышающих эффективность решения задач.

К недостаткам рассуждений на основе прецедентов можно отнести следующее:

1. при описании прецедентов обычно ограничиваются поверхностными знаниями о предметной области;

2. большое количество прецедентов может привести к снижению производительности системы;

3. проблематичным является определение критериев для индексации и сравнения прецедентов;

4. проблемы с отладкой алгоритмов определения подобных (аналогичных) прецедентов;

5. невозможность получения решения задач, для которых нет прецедентов или степень их сходства (подобия) меньше заданного порогового значения [4].

Нейронные сети и системы с нечёткой логикой

Нейронные сети привлекательны с интуитивной точки зрения, так как они основаны на примитивной биологической модели нервных систем.

Основные понятия, алгоритмы обучения и использования нейронных сетей изложены в [2].

Нейронные сети вошли в практику везде, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации или управления.

Это обусловлено тем, что, во-первых, нейронные сети позволяют воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Кроме того, нейронные сети справляются с большим числом переменных.

Во-вторых, простотой использования. Нейронные сети учатся на примерах. Пользователь нейронной сети подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически воспринимает структуру данных. При этом от пользователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем при использовании традиционных методов.

Нейронные сети хороши для задач распознавания образов, но весьма неудобны для объяснения, как они такое распознавание осуществляют. Они могут автоматически приобретать знания, но процесс их обучения зачастую происходит достаточно медленно, а анализ обученной сети весьма сложен (обученная сеть представляет обычно черный ящик для пользователя). При этом какую-либо априорную информацию (знания эксперта) для ускорения процесса ее обучения в нейронную сеть ввести невозможно.

Системы с нечеткой логикой, напротив, хороши для объяснения получаемых с их помощью выводов, но они не могут автоматически приобретать знания для использования их в механизмах выводов. Необходимость разбиения универсальных множеств на отдельные области, как правило, ограничивает количество входных переменных в таких системах небольшим значением.

Системы с нечеткой логикой целесообразно применять в следующих случаях:

1. для сложных процессов, когда нет простой математической модели;
2. если экспертные знания об объекте или о процессе можно сформулировать только в лингвистической форме.

Системы, базирующиеся на нечеткой логике, применять нецелесообразно:

1. если требуемый результат может быть получен каким-либо другим (стандартным) путем;
2. когда для объекта или процесса уже найдена адекватная и легко исследуемая математическая модель.

Отметим, что основными недостатками систем с нечеткой логикой являются следующие:

1. исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом-человеком и может оказаться неполным или противоречивым;
2. вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность.

Перспективно применение в СППР комбинированных методов принятия решений в сочетании с методами искусственного интеллекта и компьютерным моделированием.

Список литературы:

1. Авдеев З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование и решение задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами. Вып. 16. — М.: ИПУ РАН, 2007.
2. Борисов В.В., Круглов В.В, Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 284 с.
3. Варшавский П.Р. Механизмы правдоподобных рассуждений на основе прецедентов (накопленного опыта) для систем экспертной диагностики // 11-я национальная конференция КИИ-2008: Труды конференции. В 3 т., Т. 2. — М: Ленанд, 2008. — С. 321 — 329.
4. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Новости искусственного интеллекта. 2006. № 3. — С. 39 — 62.
5. Гулаков В.К., Лагерев Д.Г., Подвесовский А.Г. СППР на основе когнитивного моделирования «ИГЛА» / Гулаков В.К., Лагерев Д.Г., Подвесовский А.Г. // Программные продукты и системы. — 2007. — № 3. — С. 12.
6. Лычкина Н.Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах и системах поддержки принятия решений [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://it-claim.ru/Library/Books/SC/articles/sovremennye_tehnologii_immitacionnogo/sovremennye_tehnologii_immitacionnogo.html.

7. Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений. Вып. 2. — М.: ИПУ РАН, 1998.
8. Рутковская Д., Пипиньский М., Рутковский П. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — 2-е изд. — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — с. 452.
9. Силев В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995 — с. 485.
10. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование. — МГТУ им. Баумана, 2008. — с. 737.

2.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

Добаев Александр Заурбекович

*ассистент, Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ*

E-mail: dobai@mail.ru

Важнейшей задачей стоящей сегодня перед организациями является борьба с безучетным потреблением (хищением) электроэнергии. В настоящее время автоматизации учета потребленной электроэнергии используют системы автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

Однако ни одна из существующих систем не дает возможности автоматизировано анализировать поступающие в систему данные. Окончательный анализ проводится оператором на основании регистрируемых прибором учета параметров.

Это делает задачу внедрения интеллектуальных методов анализа и выявления безучетного существующие АСКУЭ достаточно актуальной. Однако при разработке подобных методов исследователь столкнется с определенными трудностями в сборе данных и постановке эксперимента. Наибольшую сложность составляют получение достоверных исходных

данных для анализа и проверка полученных результатов. Так, для проверки корректности разработанного метода необходимо тщательно проверить не только выявленные системой возможные точки безучетного потребления, но и каждую точку сети. Число точек может измеряться сотнями и потребовать значительных трудовых и временных ресурсов.

Выходом в данной ситуации является проведение компьютерного эксперимента, позволяющего смоделировать электросети с различной структурой и различными группами потребителей [2].

Проведение эксперимента предусматривает разработку информационной системы позволяющей описывать структуру энергетической сети, оборудование используемой в данной сети и производить расчет потребления.

Для построения имитационной модели электроэнергетической сети первым шагом является построение модели действий конечных потребителей электроэнергии, роль которых заключается последовательном включении или выключении оборудования, присоединенного к рассматриваемой сети. Очевидно, что данный процесс имеет большую стохастическую составляющую. При этом, если действия промышленных предприятий во многом зависят от протекающих в них производственных и технологических циклов, которые могут быть смоделированы с достаточно большой точностью [1; 3; 4; 6], то действия бытовых потребителей носят случайный характер и не поддаются какой-либо формализации.

Таким образом, для решения задачи необходимо использовать методы, предназначенные для моделирования систем, содержащих большое количество вероятностных элементов.

В данной работе для этого предлагается метод Монте-Карло [5], который является одним из самых распространенных методов статистических испытаний. Использование данного метода получить данные о времени работы каждого электроприемника, присоединенного к сети.

Суть метода заключается в последовательном выборе на основании таблицы распределения вероятностей и генератора случайных чисел электроприемника, который будет включен или выключен в определенный момент времени из рассматриваемого временного интервала. При этом время включения и выключения электроприемников регистрируются для последующего расчета потребления электроэнергии.

При формализации модели поведения конечных потребителей электроэнергии с использованием метода Монте-Карло, для облегчения математического описания, был принят ряд допущений:

1. Рассматриваемый интервал времени T , на котором проводятся испытания, представлен в виде множества более коротких

непересекающихся временных отрезков t_i , равных между собой. То есть $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, $t_1 = t_2$, $t_1 = t_3$, ... $t_1 = t_n$.

2. Каждая единица оборудования включается или выключается в определенный интервал времени t_i

3. Две единицы оборудования не могут быть включены или выключены в один и тот же момент времени t при условии, что точность определения момента времени t достаточно высока для этого (в общем случае, при $t_i \rightarrow 0$).

4. В целях упрощения построения модели длина интервала времени t_i , при которых выполняются предыдущие условия, принимается равной 1 секунде. При интервале моделирования эксперимента в 1 месяц такая точность более чем достаточна для описанной модели.

Имея в качестве исходных данных массив оборудования $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, на основании принятых допущений, можно утверждать, что в каждую секунду произойдет одно из трех событий: какое-либо оборудование будет включено, какое-либо оборудование будет выключено, состояние системы не изменится. Отсюда следует, что

$$p_0 + \sum_{i=1}^N p_i = 1, \quad (1)$$

где: p_0 — вероятность того, что состояние системы не изменится;

p_i — вероятностного, что оборудования x_i изменит свое состояние (выключенное оборудование будет включено, включенное — выключено).

В простейшем случае $p_0 = \text{const}$, а $p_i = (1 - p_0)/N$. То есть вероятности включения или выключения каждой единицы оборудования равны между собой.

$$\text{const} + \sum_{i=1}^n (1 - \text{const})/N = 1 \quad (2)$$

Алгоритм, моделирующий регистрацию включения и выключения оборудования потребителями, согласно предложенному методу Монте-Карло, представлен на рисунке 1.

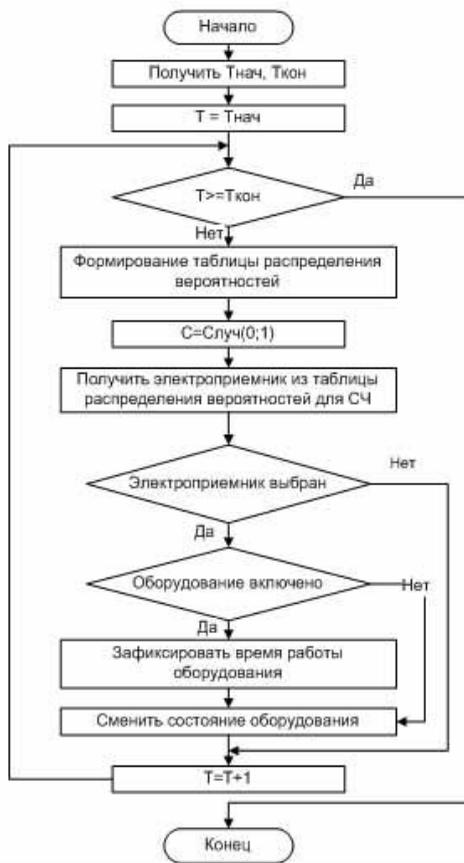


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма модели работы электросети

Работа алгоритма состоит в последовательном определении изменения состояния системы для каждого момента времени t_i , входящего в рассматриваемый интервал времени. На каждом шаге цикла алгоритма для каждого t_i выполняется следующие действия:

1. Строится таблица распределения вероятностей наступления каждого из перечисленных событий. Кумулятивная вероятность считается по формуле (3)

$$p_i = p_{i-1} + \frac{(1-p_0)}{N}, p_0 = const, \quad (3)$$

В представленной таблице распределения вероятностей 1 нулевому событию соответствует отсутствие изменений в системе; каждому

последующему соответствует какой-либо электроприемник, который меняет свое состояние.

Таблица 1.

Таблица распределения вероятностей между событиями

Номер единицы оборудования	Вероятность, p	Кумулятивная вероятность, p'
0	$p_0 = \text{const}$	const
1	$p_1 = (1 - P_0) / N$	const + $(1 - P_0) / N$
2	$p_2 = (1 - P_0) / N$	const + $2 * (1 - P_0) / N$
...
N	$p_n = (1 - P_0) / N$	1

2. С помощью генератора случайных чисел выбирается число СЧ в интервале $[0..1]$ (с требуемым числом разрядов).

3. В таблице распределения вероятностей выбирается строка с минимальным значение p' , удовлетворяющим условию $p'_i > \text{СЧ}$. Электроприемник данной строки и будет использоваться в дальнейшей обработке. Если p' соответствует нулевому событию, то алгоритм переходит к следующей итерации цикла.

4. Для выбранного на предыдущем шаге электроприемника фиксируется время его включения или выключения. При выключении электроприемника время его работы регистрируется в соответствующей таблице (таблица работы электроприемников).

Пример работы алгоритма для $N=5$, $p_0=0,5$, $T=10$ сек. представлен ниже.

Строим таблицу распределения вероятностей (табл. 2).

Таблица 2.

Распределение вероятностей для $N=5$, $p_0=0,5$, $T=10$

Номер события	Вероятность, p_i	Кумулятивная вероятность, p'_i
P_0	0,5	0,5
P_1	0,1	0,6
P_2	0,1	0,7
P_3	0,1	0,8
P_4	0,1	0,9
P_5	0,1	1

Расчет, выполненный на каждом шаге цикла алгоритма, а также окончательный результат его выполнения представлен в таблице 3 и таблице 4.

Таблица 3.**Расчет, выполняемый в цикле алгоритма**

Шаг	Время	Случайное число	Номер события	Описание события
1	0:00:00	0,775	3	Включение электроприемника №3
2	0:00:01	0,353	0	Состояние системы не изменилось
3	0:00:02	0,123	0	Состояние системы не изменилось
4	0:00:03	0,834	4	Включение электроприемника №4
5	0:00:04	0,192	0	Состояние системы не изменилось
6	0:00:05	0,419	0	Состояние системы не изменилось
7	0:00:06	0,776	3	Выключение электроприемника №3
8	0:00:07	0,095	0	Состояние системы не изменилось
9	0:00:08	0,656	2	Включение электроприемника №2
10	0:00:09	0,859	4	Выключение электроприемника №4
11	0:00:10			Выключение электроприемников

Таблица 4.**Периоды работы электроприемников**

№	Оборудование	Время включения	Время выключения
1	Оборудование №3	0:00:00	0:00:06
2	Оборудование №4	0:00:03	0:00:09
3	Оборудование №2	0:00:08	0:00:10

Использование предложенного метода, создание на его основе программы для ЭВМ, позволит значительно упростить процесс сбора данных для последующего анализа и разработки методов интеллектуального анализа данных поступающих в систему АСКУЭ со связанных с ней приборов учета электроэнергии.

Список литературы:

1. Арунянц Г.Г., Калинин А.Д., Хузмиев И.К. Особенности построения программного комплекса расчета и анализа потерь в электрических сетях // Вестник ФЭК РФ.— М.: 2001.— № 4.— С. 143—148.
2. Добаев А.З. К вопросу об использовании данных АСКУЭ для разработки методов выявления безучетного потребления электроэнергии // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Саратов, 2011 г. — С. 49—55

3. Едемский С.Н. Прогнозирование электропотребления нагрузки на основе моделей с самоорганизацией // Известия Вузов. Энергетика, 1990, № 2. С. 17—22.
4. Кумаритов А.М., Сакиев А.В. Алгоритм прогнозирования случайных процессов потребления электрической энергии // Малая энергетика — 2005: Материалы международной научно-практической конференции, г. Москва, 2005.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука // М: Изд. «Мир» — 1978 г, 418 с.
6. Юшин С.А., Кумаритов А.М. Статистический алгоритм прогнозирования случайных процессов потребления электрической энергии. // Труды Международной научно-практической конференции «Экономические и экологические проблемы регионов СНГ, Астрахань, 2006.— С. 292—297.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕРМИЧЕСКИМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Фазлутдинова Татьяна Евгеньевна
аспирант 2 курса ОГПУ, г. Оренбург
E-mail: ucheba_v_ogpu@mail.ru

Связь между температурными напряжениями и деформациями проста и вытекает непосредственно из следующего определения. Термические напряжения — напряжения, возникающие в связи с изменением теплового состояния тел при их нагреве, охлаждении, а также длительном пребывании при повышенной или пониженной температуре. Действие термических напряжений состоит, например, в разрушении (растрескивании) при полимеризации, оно может проявляться не в момент изменения теплового состояния (охлаждения), а спустя некоторое время (иногда спустя несколько суток) в результате постепенного накопления напряжений, возникающих при изменении удельных объемов структурных составляющих.

Исследуемая связь хорошо отражена в теории линейной вязкоупругости (наследственности), развитой Больцманом, Вольтера, Работновым и получившей широкое распространение в последнее время. Одной из основных гипотез данной теории является гипотеза о загухающей памяти, подробно обсужденная в книге Кристенсена [3].

Гипотеза о затухающей памяти принималась безоговорочно для полимерных тел до тех пор, пока Фитцджеральдом не был указан класс полимерных материалов и описан ряд опытов на них, для которых гипотеза о затухающей памяти не подтверждается, — это наполненные тонко дисперсными минеральными частицами эластомеры. Под незатухающей памятью обычно понимается свойство материала накапливать при действии напряжений некоторые необратимые изменения, не исчезающие далее под действием времени [5]. Определить же линейно-упругую вязкость можно следующим образом. Если напряжение σ , определяемое как функция от ε , изменяется для некоторого тела с изменением ε так, что удовлетворяются равенства

$$\sigma(C \cdot \varepsilon) = C \cdot \sigma(\varepsilon) \quad (1)$$

и (или)

$$\sigma(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \sigma(\varepsilon_1) + \sigma(\varepsilon_2) \quad (2)$$

(C — постоянная величина, $\varepsilon(t_1)$ и $\varepsilon(t_2)$ — законы изменения деформаций во времени t), то такое тело есть линейное вязко — упругое. Условие (1) Фитцджеральд называет условием однородности. Это название соответствует определению однородной функции, данной Смирновым, согласно которому функция любого числа переменных называется однородной функцией этих переменных степени m , если при умножении всех этих переменных на произвольную величину t функция умножается на число, равное t^m . Из этого определения видно, что удовлетворяющая условию (1) функция есть однородность первой степени.

Условие (2) есть математическое выражение принципа линейной суперпозиции (наложения) [1].

Отечественными исследователями Трифоновым и Малининым, показано что для некоторых материалов, обнаруживающих свойство незатухающей памяти, при не слишком высоких напряжениях удовлетворяется условие (1), а условие (2) существенно не удовлетворяется [3]. Такого типа поведение названо этими авторами полулинейным, для описания полулинейного поведения известные теории линейной и нелинейной вязко-упругости непригодны.

Зададимся целью получить уравнения связи между напряжениями и деформациями для материала, для которого в частном случае удовлетворяется условие (1), но не удовлетворяется условие (2).

Сформулируем следующие гипотезы:

1. При макроскопической деформации ε деформации в различных микрообъемах (или для полимерного материала деформации цепи) ε могут быть разными и при этом существует связь между ε_1 и ε_2 :

$$\varepsilon_1 = \eta_1 \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

где: η_1 — некоторый коэффициент, который можно назвать коэффициентом концентрации деформации.

Наличие концентрации деформации может быть вызвано влиянием частиц наполнителя, а также неоднородностью цепей полимера при полимеризации.

2. В процессе деформирования в микрообъемах возникают повреждения π_i , определяемые соотношением:

$$\pi_i = \int_0^t \frac{d_{\varepsilon_1}^{i+k}(\tau)}{s^{i+k}(t-\tau)}, \quad (4)$$

где t - время, $s(t)$ - деформация при разрушении в функции времени t в опыте на релаксацию напряжений, k - параметр. Критерий разрушения представляет собой обобщение на нелинейный случай предложенного А. А. Ильюшиным линейного критерия [4], где последний записан в деформациях.

3. Для всех микрообъемов (или для всех цепей) существует один и тот же закон связи между микронапряжениями σ_i и деформациями ε_i

$$\begin{cases} \sigma_i = f(\varepsilon_i) = f(\eta_i \cdot \varepsilon), & \text{if } \pi_i < 1, \\ \sigma_i = 0, & \text{if } \pi_i \geq 1. \end{cases} \quad (5)$$

4. Функция $s(t)$ есть степенная

$$s(t) = A \cdot t^{-m}, \quad (6)$$

где A и m — параметры.

Из (4) с учетом (3) и (6) устанавливаем связь между η_1 и π_1

$$\eta_1 = \frac{A \cdot \pi_1^{\frac{1}{1+k}}}{\left[\int_0^t (t-\tau)^{m \cdot (1+k)} \cdot d\varepsilon^{1+k}(\tau) \right]^{\frac{1}{1+k}}}. \quad (7)$$

Для простоты функционал, стоящий в знаменателе правой части этой формулы, будем обозначать $F[\varepsilon(\tau)]$ или $F[\varepsilon]$, т.е.

$$F[\varepsilon(\tau)] = \left[\int_0^t (t-\tau)^{m \cdot (1+k)} d\varepsilon^{1+k}(\tau) \right]^{\frac{1}{1+k}}. \quad (8)$$

Более правильным было бы обозначение $F\left[\varepsilon\left(\tau\right)\right]$, однако, в связи с

тем, что в $F[\varepsilon]$ в нижнем и верхнем пределах τ всегда будет 0 и t , писать их не будем.

В момент разрушения $\pi_i=1$ и максимальная величина η_i , для которой в момент t произошло разрушение, будет равна величине η_c , определяемой отношением

$$\eta_c = \frac{A}{F[\varepsilon]}. \quad (9)$$

С учетом (9) гипотеза (3) может быть записана в виде

$$\begin{cases} \sigma_i = f(\eta_i \cdot \varepsilon), & \text{при } \pi_i < \frac{A}{F[\varepsilon]}, \\ \sigma_i = 0 & \text{при } \pi_i \geq \frac{A}{F[\varepsilon]}. \end{cases} \quad (10)$$

Величину η_c можно считать запасом прочности полимера; при $\eta_c = 1$ происходит разрушение образца [2].

Рассматриваемое напряжение σ , с учетом изложенного, можно записать в виде:

$$\sigma = \int_1^{\eta_c} N(\eta) \cdot f(\eta\varepsilon) \cdot d\eta. \quad (11)$$

Здесь в качестве нижнего предела коэффициента η , характеризующего концентрацию деформации мягкого связующего в зазоре между жесткими частицами, принята единица. В самом деле, если бы жесткие частицы отсутствовали, то можно было бы считать $\eta=1$ по всему объему полимера. При наличии жестких частиц можно предполагать все же в каких-то объемах полимера, на большем удалении от частиц наполнителя существование областей, где $\eta \approx 1$. Кроме того, как было показано ранее, при снижении η_c до 1 происходит разрушение образца. Весовая функция $N(\eta)$ определяет вклад в величину σ тех областей, для которых коэффициент η находится от η до $\eta + d\eta$.

По поводу функции $N(\eta)$ можно утверждать следующее. Разложим ее в ряд Лорана

$$N(\eta) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} a_i \cdot \eta^i. \quad (12)$$

Поскольку $N(\eta)$ должна удовлетворять условиям нормирования $\int_1^{\infty} N(\eta) d\eta = 1$, то члены в ряде Лорана, для которых $i \geq -1$, должны обращаться в нуль, чтобы ряд (12) был абсолютно сходящимся. Ограничиваясь членами ряда (12), при этом имеем:

$$N(\eta) = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{b_i}{\eta^{i+1}}. \quad (13)$$

Можно предполагать, что функция $\sigma=f(\eta\varepsilon)$ есть монотонная возрастающая функция при не слишком больших деформациях многослойной конструкции. Разлагая ее в ряд Тейлора

$$f(\eta\varepsilon) = \sum_{j=1}^{n_2} c_j (\eta\varepsilon)^j \text{ с учетом того, что } f(0)=0 \text{ из (11) с учетом (9) имеем:}$$

$$\sigma(t) = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} E_{ij} \cdot \varepsilon^j \left\{ \left(\frac{A}{F[\varepsilon]} \right)^{j-1} - 1 \right\} + \sum_{i=1}^{n_{\min}} E_{ii} \varepsilon^i \ln \left\{ \frac{A}{F[\varepsilon]} \right\}, \quad (14)$$

где E_{ij} и E_{ii} — постоянные, n_{\min} — минимальная из n_1, n_2 .

Соотношение (14) в том виде, как оно здесь приведено, использовать сложно, поэтому для практических применений будет частный случай (14), который можно записать в виде:

$$\sigma(t) = E_1\varepsilon + E_2\varepsilon^2 \frac{A}{F[\varepsilon]} + E_3\varepsilon^3 \left(\frac{A}{F[\varepsilon]} \right)^2 + \dots \quad (15)$$

Существует ряд неравенств, предложенных еще Фитцджеральдом, важных для понимания поведения полимерного материала, причем они имеют место при $k \geq 0$ и для функционала $F[\varepsilon]$ при условии, что или ε_1 в (4) всегда больше нуля, или, если ε_1 - отрицательна, то берется ее абсолютное значение.

Эти неравенства имеют вид:

$$F[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2] \leq F[\varepsilon_1] \cdot F[\varepsilon_2]. \quad (16)$$

$$F[\varepsilon_1 + \varepsilon_2] \leq F[\varepsilon_1] + F[\varepsilon_2]. \quad (17)$$

$$F[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2] \leq F[\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3] \cdot F[\varepsilon_3 \cdot \varepsilon_2]. \quad (18)$$

Справедливо также равенство:

$$F[c \cdot \varepsilon_1] = c \cdot F[\varepsilon_1] \quad (c = const). \quad (19)$$

Равенство (19) с учетом (8) доказывается путем несложных преобразований, неравенство (18) вытекает из (17), а для доказательства неравенства (17) используется неравенство Минковского

$$\left(\int_{\varepsilon} |f + g|^p dx dy \right)^{\frac{1}{p}} \leq \left(\int_{\varepsilon} |f|^p dx dy \right)^{\frac{1}{p}} + \left(\int_{\varepsilon} |g|^p dx dy \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (20)$$

Интегрируя по частям с учетом того, что $k \leq 0$ и $m > 0$, имеем:

$$\int_{\varepsilon} |f|^p dx dy = \int_0^t (t - \tau)^{m(1+k)-1} \cdot \varepsilon^{1+k}(\tau) d\tau.$$

Далее полагаем:

$|f| = \varepsilon_1, |g| = \varepsilon_2, \tau = x, p = 1 + k$. Интегрирование ведем в области ε , ограниченной осью абсцисс, ординатой $x = t$ и графиком $y = (t - \tau)^{m(1+k)-1}$. Например, для ε_1 при этом имеем:

$$\int_{\varepsilon} |f|^p dx dy = \int_0^t (t - \tau)^{m(1+k)-1} \varepsilon^{1+k}(\tau) d\tau, \text{ и из (20) имеем (17).}$$

Из неравенства (17) и равенства (19) мы можем получить в частном случае поведение материала такое, что условие однородности (1) удовлетворяется, а принцип суперпозиции (2) не удовлетворяется. Ограничимся для простоты в (15) двумя членами в правой части. Пусть имеем законы деформирования: первый, когда $\varepsilon = \varepsilon(t)$ и второй, когда $\varepsilon = c \cdot \varepsilon(t)$ ($c = \text{const}$). Из (15) видно, что в любой момент времени t напряжения σ будут во втором случае в c раз больше, чем в первом.

Теперь ограничимся в (15) двумя первыми членами в правой части. Представим себе, что рассматриваются два закона деформирования, когда деформации и напряжения в функции времени были $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$ и $\sigma_1(t)$, $\sigma_2(t)$, а также третий закон, когда $\varepsilon_3(t) = \varepsilon_1(t) + \varepsilon_2(t)$. Найдем σ_3 по формуле (15), где удержаны два члена разложения. Имеем:

$$\sigma_3(t) = E_1 \varepsilon_1 + E_2 \varepsilon_2 \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{F[\varepsilon_1 + \varepsilon_2]}. \quad (21)$$

Поскольку в (17) $F[\varepsilon_1 + \varepsilon_2] \leq F[\varepsilon_1] + F[\varepsilon_2]$, а нас здесь может интересовать лишь знак «больше», то из (21) в общем случае будем иметь

$$\sigma_3(t) > \sigma_1(t) + \sigma_2(t). \quad (22)$$

Иллюстрация неравенства (22) приведена в работе [4]. В проводимых опытах всегда получалось, что фактическое напряжение было всегда больше расчетного, определенного с помощью принципа суперпозиции, так что экспериментальная кривая в координатах $\sigma \theta \varepsilon$ при больших t в опыте с задержкой приближалась к диаграмме, снятой в опыте без задержки.

Список литературы.

1. Акимов И.А., Акимов А.И. Математическое описание теплофизических процессов полимеризации. // Санкт-Петербург. Изд-во СПбГПУ. Формирование технологической политики инновационных наукоемких технологий. Материалы научно-технической конференции и школы семинара. — 2003. — С. 299 — 306.
2. Акимов И.А., Акимов А.И., Инчин А.Н. Теоретические и экспериментальные исследования технологического процесса изготовления изделий из композиционных материалов. // Препринт. — Уфа: Редакционно-издательский центр Башгосуниверситета, 2003. — 38 с.
3. Вигак В.М. Управление температурными напряжениями и перемещениями. Киев: Наукова Думка, 1988 — 313 с.
4. Ильюшин А.А. Об одной теории длительной прочности. — Изв. АН СССР, «Механика твердого тела», 1967, № 3, с. 21 — 35

5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. — Изд. 5-е перераб. И доп. — М.: Атомиздат, 1979, — 416 с.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М., «Высшая школа», 1967 — 599 с.

2.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ОБЗОР МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПЛИС

Еськов Виталий Сергеевич

аспирант, ЮЗГУ, г. Курск

E-mail: vitaliy86@inbox.ru

Одной из актуальных задач реинжиниринге внутренней структуры ПЛИС является задача перехода от физической реализации внутренней структуры к ее логическому описанию каким-либо способом. Однако без автоматизации данной задачи, реинжиниринг электрической схемы занимает неприемлемо большое время, и результат, как правило, становится неактуальным.

В работе предлагается анализ известных методов реинжиниринга внутренней структуры ПЛИС, которые позволяют сократить время восстановления электрических схем, реализованных в ПЛИС, по полученным данным в рамках конкретного метода с использованием автоматизированных средств. Чем больше автоматизирован и распараллелен данный процесс, тем быстрее будут решаться задачи реинжиниринга и последующего анализа восстановленных схем на наличие в них, не декларированных возможностей [1; 2; 3].

Процесс восстановления должен решать следующие задачи: восстановление отдельных узлов схемы, определение связи между ними, определение и построение функциональных блоков и областей, определение алгоритмов функционирования ПЛИС.

В соответствии с рисунком 1, данные задачи, возможно, решить разрушающими и не разрушающими методами.

- *разрушающие (инвазивные)* — при исследовании проводится последовательное контролируемое уничтожение определенной части кристалла ИМС с целью получения информации о нижних слоях металлизации и подложке. Возможность работоспособности исследуемого образца при этом исключается;
- *неразрушающие (неинвазивные)* — включают в себя анализ внешнего окружения, цепей питания, контроль битовых потоков, генерацию нестандартных режимов работы и т. д. Применение некоторых из данных методов требует наличия работоспособного образца объекта исследования: самой ПЛИС или битового потока.

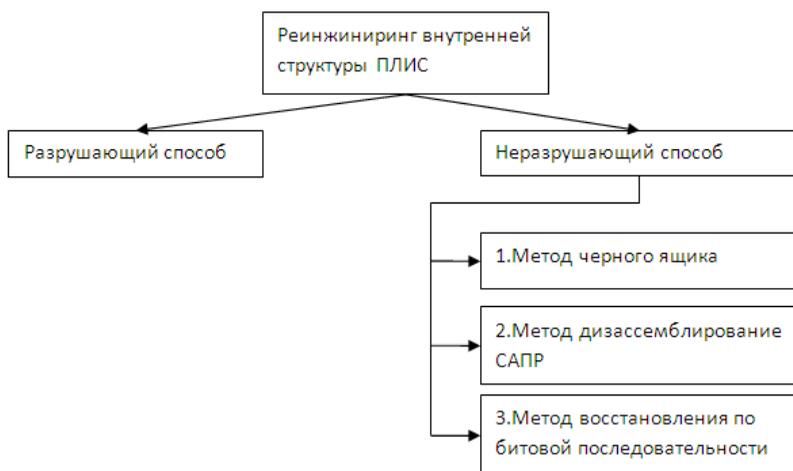


Рисунок 1. Блок-схема методов восстановления внутренней структуры ПЛИС

Поскольку ПЛИС (в случае повреждения кристалла) является неремонтопригодным объектом, то предпочтительнее использовать неразрушающие методы, если существует возможность их применения.

Можно выделить три основных метода неразрушающего реинжиниринга внутренней структуры ПЛИС:

Метод черного ящика — подразумевает представление ПЛИС в виде черного ящика и исследование реакций выходов ПЛИС на различные наборы входных данных. Этот метод может быть эффективен только для ПЛИС, реализующих простую булеву функцию от нескольких переменных без триггерных элементов. Недостаток метода заключается

в необходимости иметь в наличии несколько ПЛИС и средства загрузки в них битового потока (программаторы, переходные кабели и т.п.). При современном развитии ПЛИС со сложнейшей внутренней структурой и количеством логических блоков порядка 10 млн. этот метод абсолютно бесперспективен.

Метод дизассемблирования САПР - восстановления внутренней структуры путем дизассемблирования САПР проектирования ПЛИС, создающего загрузочные битовые последовательности, позволяет выделить механизм формирования битовой загрузочной последовательности для различных активных ресурсов различных типов ПЛИС. Недостатком метода является большие временные затраты на дизассемблирование (преодоление защиты САПР от дизассемблирования, отслеживание сложнейших связей между компонентами САПР и т.п.), плохое распараллеливание процесса дизассемблирования, необходимость приобретения САПР программирования ПЛИС и различных дизассемблеров. Достоинством метода является возможность дизассемблирования механизма формирования битовой загрузочной последовательности одновременно для широкого спектра ПЛИС без приобретения самих микросхем, которые могут стоить несколько сотен и более долларов.

Метод восстановления по битовой последовательности - восстановления внутренней структуры по известному загрузочному битовому потоку ПЛИС также подразумевает использование САПР проектирования ПЛИС с целью целенаправленного воздействия на определенные внутренние ресурсы конкретных микросхем и определения отображения данных ресурсов на битовую загрузочную последовательность.

Недостатком метода является большая сложность и трудоемкость (необходимость исследования большого числа битовых загрузочных последовательностей), а также необходимость приобретения САПР проектирования ПЛИС. Достоинство метода заключается в исследовании ПЛИС без приобретения самих микросхем, хорошее распараллеливание процесса, возможность минимизации областей исследования и, как следствие этого, получение результатов за относительно короткие сроки, по сравнению со вторым способом. При постоянном увеличении логической емкости ПЛИС трудоемкость данного способа возрастает настолько, что применение данного способа становится неэффективным.

Достоинство метода заключается в исследовании ПЛИС без приобретения самих микросхем, хорошее распараллеливание процесса, возможность минимизации областей исследования и, как следствие этого,

получение результатов за относительно короткие сроки, по сравнению со вторым способом.

При восстановлении внутренней структуры любого типа ПЛИС по загрузочной битовой последовательности данным методом в общем случае всегда решаются три задачи:

- создание модели внутренней архитектуры ПЛИС;
- создание модели битовой загрузочной последовательности;
- восстановление внутренней структуры ПЛИС (т.е. восстановление схемы конкретной реализации под данную ПЛИС) с использованием отображений активных ресурсов архитектуры на битовую последовательность.

На основе предложенных методов могут решаться некоторые подзадачи, специфичные для данного типа ПЛИС.

Построение модели внутренней архитектуры ПЛИС необходимо для последующего создания модели битового потока. Одним из направлений совершенствования метода целенаправленного воздействия является построение универсальной настраиваемой модели битового потока. При решении этой задачи сократится время нахождения отображения активных ресурсов внутренней архитектуры ПЛИС на битовый поток. Соответственно модель битового потока должна быть программной.

Основные требования к модели битового потока:

- возможность задания длины битового потока;
- возможность задания различных типов ресурсов внутренней архитектуры;
- возможность независимого обращения к каждому из ресурсов;
- возможность сравнения между собой различных однотипных ресурсов и выдачи результатов сравнения;
- запоминание настроек для каждой новой модели в отдельности.

Неуклонный рост логической емкости ПЛИС и усложнение их внутренней архитектуры делает актуальным применение второго метода восстановления внутренней структуры путем дизассемблирования САПР проектирования ПЛИС. Однако второй метод предпочтительно использовать в сочетании с третьим, так как по многим позициям третий метод дает правильный результат в более короткие сроки.

Таким образом, развитие второго и третьего из описанных методов неразрушающего восстановления внутренней структуры ПЛИС является актуальным и перспективным.

Список литературы:

1. Майская В. Программируемые логические микросхемы, 2005// [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.radioradar.net/>
2. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем / В.В. Соловьев // М.: Горячая линия — Телеком, 2001.
3. Современные реализации ПЛИС// Компьютеры/ [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://parallel.ru>

СЕКЦИЯ 3.

ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

3.1. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ МИКРОКАНАЛОВ В КНУДСЕНОВСКОМ ПРЕДЕЛЕ С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ

Белов Антон Александрович

*аспирант, кафедра Молекулярной физики, УрФУ, г. Екатеринбург
E-mail: fortoha@gmail.com*

Борисов Сергей Федорович

*д-р физ. - мат. наук, профессор, УрФУ, г. Екатеринбург
E-mail: sergei.borisov@usu.ru*

Кузнецов Максим Алексеевич

*студент, кафедра Молекулярной физики, УрФУ, г. Екатеринбург
E-mail: taxbsp@mail.ru*

Породнов Борис Трифионович

*д-р физ. - мат. наук, профессор, УрФУ, г. Екатеринбург
E-mail: porodnov@dpt.ustu.ru*

Ухов Александр Ильич

*студент, кафедра Молекулярной физики, УрФУ, г. Екатеринбург
E-mail: sanek_uhov@mail.ru*

В настоящее время потребности науки и практики при решении таких проблем, например, как создание высоковакуумных производств со сверхчистой атмосферой, обеспечение режима заданного теплообмена

летательных аппаратов или расчета газодинамического сопротивления при внешнем и внутреннем обтеканиях различных объектов требуют учета параметров, характеризующих структуру и химический состав рабочей поверхности. Влияние эти параметров на газодинамические характеристики потоков вблизи поверхности в существенной мере зависит от степени разреженности газа, характеризуемой числом Кнудсена Kn . При увеличении Kn роль взаимодействия газ-поверхность и эффективность переноса энергии и импульса значительно возрастает, так как в этом случае межмолекулярные столкновения становятся несущественными по сравнению со столкновениями частиц с поверхностью. В так называемом кнудсеновском пределе (свободно-молекулярный режим течения или теплообмена, когда $Kn \rightarrow \infty$) эффективность переноса энергии и импульса в системе газ — поверхность полностью определяется процессами, происходящими на этой поверхности. Проблема учета взаимодействия газовых частиц с поверхностью при течении и теплообмене разреженного газа становится особенно актуальной в связи с разработкой в последние годы так называемых GASMEMS устройств и кнудсеновских компрессоров [4]. Это связано с тем, что при уменьшении габаритов подобных устройств параметры, характеризующие режим течения и теплообмена газа, также уменьшаются. При этом режим больших чисел Кнудсена достигается уже при сравнительно более высоких давлениях газа, когда адсорбционные процессы играют существенную роль в поверхностных взаимодействиях.

В [4] исследован процесс рассеяния молекулярного пучка, падающего на моделируемую шероховатую поверхность под заданным углом. Моделирование неровностей осуществлялось статистическими методами, что приближает получаемую структуру к тем, которые наблюдаются при атомно-силовой микроскопии реальных образцов. Разработанная процедура расчета позволила найти аналитический вид функций распределения по компонентам скоростей отраженных от поверхности частиц, получить лепестковые индикатрисы рассеяния, известные из экспериментов по рассеянию на поверхности моноэнергетических пучков частиц. Были также представлены результаты первых тестовых расчетов вероятности прохождения газовых частиц через короткие каналы с микрошероховатой поверхностью.

В данной работе представлены результаты систематического исследования влияния параметров микрошероховатости поверхности и доли диффузно-зеркального рассеяния частиц каждым элементом шероховатости на величину газодинамической проводимости цилиндрических капилляров произвольной относительной длины в кнудсеновском пределе.

Задача данной работы заключалась в усовершенствовании и модернизации программы моделирования прохождения разреженного газа через микроканал [4] заданной относительной длины $L = l/R$ (l и R — длина и радиус соответственно). Это позволило существенно (до десятка раз) сократить затраты машинного времени при проведении численного эксперимента по определению зависимости проводимости микроканала от его относительной длины L , относительной средней высоты микрошероховатости h/R и доли ε диффузно- и доли $1 - \varepsilon$ зеркально-рассеянных частиц на поверхности. Использовался один из методов статистических испытаний Монте-Карло — метод пробной частицы [1].

Одним из основных этапов расчетной программы является моделирование поверхности на основе реальных образцов шероховатых материалов. Известно, что форма микронеровностей поверхности оказывает первостепенное влияние на характер движения разреженного газа вблизи поверхности. Однако, статистическое моделирование поверхности не всегда пригодно для решения подобной задачи, например, по методике в [3], пригодной больше для описания искусственной шероховатости регулярной структуры. В работе были использованы данные атомно-силовой микроскопии реального кремниевого образца размером 20×20 мкм (с базой данных $N=400 \times 400 = 1,6 \cdot 10^5$ измерений высоты) с высотой микронеровностей от нескольких до ~ 2000 нм. По этим данным строилась карта высот с покрытием каждой из трёх соседних высот треугольником, который отождествлялся с элементом поверхности с диффузно-зеркальным рассеянием газовых частиц. Затем путём моделирования осуществлялось увеличение площади поверхности путем повторных зеркальных отражений имеющегося кремниевого образца до необходимой величины. Эта величина поверхности определялась относительной длиной l круглого капилляра, и затем она сворачивалась в цилиндр. Среднее значение радиуса капилляра вычислялось по выбранной относительной длине L с учётом среднего значения высоты шероховатости по формуле

$$R = \frac{l}{L} - \sum_{i=1}^N h_i / N \quad (1)$$

Длина l капилляра в (1) выбиралась из условия, чтобы она была на порядок больше средней длины свободного пробега газовых частиц, равной, например, для воздуха при нормальных условиях $\sim 10^{-4}$ см. В выбранном диапазоне расчётных значений относительных длин $L=0-400$ при абсолютных давлениях на порядок ниже атмосферного режим течения в таких каналах можно рассматривать свободномолекулярным (или

кнудсеновским пределом, когда $K\mu \gg 1$ и расход газа при единичной разности давлений остается постоянным при изменении $K\mu$).

Схематичное изображение шероховатой поверхности цилиндра с относительной длиной L и радиусом R (1), полученного описанным выше способом и имеющегося плоского кремниевого образца, представлено на рис. 1.

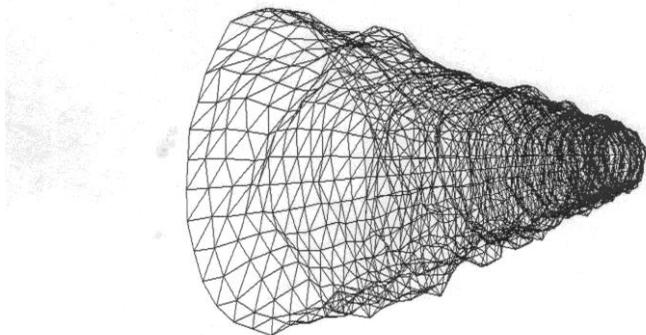


Рисунок 1. Схематическое изображение шероховатой поверхности цилиндра

Принято характеризовать шероховатость поверхности относительной шероховатостью $\bar{h}_R = \bar{h} / R$, где \bar{h} — средняя высота неровностей образца. Оценка влияния средней высоты неровностей на вероятность прохождения частиц в канале проводилась для значений $\bar{h} = 0,1, 0,2$. Наибольшее значение \bar{h} ограничено требованием выполнения неравенства $h_{\text{макс}} < R$ (таких высот наблюдалось около 10 из $\sim 10^5$). Кроме того, при выбранных значениях \bar{h} можно полагать, что поправка на кривизну поверхности, связанную с переходом от плоской шероховатой поверхности к цилиндрической с теми же параметрами шероховатости является величиной второго порядка малости по сравнению с основным вкладом и меньшей по сравнению с расчетной погрешностью ($\sim 0,2$ — $0,5$ %).

Моделирование движения газовых частиц по траекториям содержит два существенно отличающихся по затратам машинного времени этапам. Первый из них состоит в определении места старта частицы с поверхности, разграничивающей области равновесного и неравновесного

состояния газа (это может быть площадь входного и выходного сечений канала или замкнутые поверхности, ограничивающие области перед ними). Розыгрыш старта частиц с таких поверхностей известен [1], и он не занимает много времени и оперативной памяти используемой вычислительной техники.

Что касается второго этапа — определения точек столкновения частицы с шероховатой поверхностью и последующего рассеяния частиц, то, как показал опыт численного эксперимента в [4], использование стандартного, известного в компьютерной графике метода оболочек для определения этих точек связано с необходимостью последующего покрытия поверхности триангуляционной сеткой с элементарными ячейками в виде треугольников, пространственные координаты вершин которых должны храниться в оперативной памяти. Всё это приводит к резкому увеличению затрат машинного времени.

В настоящей работе использовалась специальная программа для расчета точки столкновения частицы с элементом поверхности, основанная на последовательном делении траектории полета частицы пополам, определении высоты точки деления и сравнения её с ближайшими тремя высотами микронеровностей поверхности. В случае, если она оказывалась меньше наибольшей из трех ближайших высот, то по их пространственным координатам составлялось уравнение элемента поверхности, и оно решалось совместно с уравнением последней высоты из последовательности деления траектории полета частицы пополам для определения координат точки столкновения частицы с поверхностью и последующего рассеяния её по диффузно-зеркальному закону. Такая процедура моделирования существенно (в десятки и сотни раз) сокращает потребности в оперативной памяти и уменьшает затраты машинного времени на два порядка. Эти приёмы моделирования позволили уменьшить погрешность вычислений до $\sim 0,2\%$. В каждом численном эксперименте для определения вероятности прохождения $w(L, \bar{h}_R, \varepsilon)$ частицы (или газодинамической проводимости) в цилиндрическом канале относительной длины L с относительной шероховатостью стенок \bar{h}_R при доле ε диффузно-зеркального рассеяния частиц на стенке использовалось не менее 10^6 пробных частиц. Температура газа и стенок капилляра предполагалась постоянной и равной 300 К.

Результаты численного эксперимента по определению зависимости вероятности w прохождения газовых частиц в цилиндрическом капилляре от относительной длины L , относительной шероховатости стенок \bar{h}_R и доли ε диффузно-зеркального рассеяния частиц на стенке представлены в табл. 1 и 2, на рис. 2, 3 и 4. Как видно в табл. 1, величина w при

полностью диффузном ($\varepsilon = 1$) рассеянии частиц гладкими стенками с увеличением относительной длины L уменьшается. Это происходит, прежде всего, за счёт уменьшения потока частиц, прошедших канал без столкновений с его стенками и чей вклад в общий поток становится пренебрежимо малым (в пределах расчетной погрешности) при $L \gg 1$.

Для сравнения в табл. 2 приведены данные, полученные другими методами расчёта газодинамической проводимости: w_c — вариационный метод решения интегро-дифференциального уравнения для частоты столкновений частиц на стенке [3]; w_2 — метод Монте-Карло с разделением пространства с неравновесным состоянием газа на ячейки [2]; $w(\varepsilon=1)$ — метод пробных частиц; $w_1(\varepsilon=0,8)$ — *кинетические методы для длинных каналов* ($L \gg 1$), определяющие w с известным множителем $(2-\varepsilon)/\varepsilon$ в *кнудсеновском пределе* $Kn \gg 1$ и поток скольжения вблизи стенки в вязком со скольжением течении газа ($Kn \ll 1$). Как видно в табл.2, данные, полученные по методам Клаузинга в [3], Монте-Карло [2] и пробных частиц в настоящей работе, совпадают в пределах расчетных погрешностей практически для всех L .

Таблица 1

**Вероятность прохождения частиц в цилиндрическом капилляре
w как функция относительной длины L
и доли ε диффузно рассеянных частиц**

L/R	$\varepsilon=1$	$\varepsilon=1$ [3]	$\varepsilon=0,9$	$\varepsilon=0,8$	$\varepsilon=0,7$	$\varepsilon=0,6$
0,2	0,9100	0,9092	0,9161	0,9261	0,9352	0,9454
0,4	0,8354	0,8341	0,8524	0,8655	0,8792	0,8942
0,6	0,7725	0,7711	0,7979	0,8120	0,8304	0,8547
1	0,6713	0,6720	0,6943	0,7247	0,7583	0,7879
2	0,5170	0,5136	0,5426	0,5813	0,6137	0,6527
4	0,3567	0,3589	0,3896	0,4258	0,4724	0,5103
6	0,2740	0,2807	0,3062	0,3430	0,3809	0,4165
10	0,1930	0,1973	0,2109	0,2465	0,2785	0,3203
20	0,1088	0,1135	0,1275	0,1488	0,1779	0,1958
40	0,05892	0,06130	0,07080	0,08488	0,1011	0,1212
60	0,03908	0,04200	0,04670	0,05877	0,07080	0,08370
100	0,02518	0,02580	0,03180	0,03785	0,05030	0,05440
200	0,01325		0,01567	0,02006	0,02372	0,02925
400	0,00634		0,00821	0,00994	0,01203	0,01453

Таблица 2.

Вероятность прохождения частиц w как функция относительной длины L , доли ε диффузно рассеянных частиц и относительной шероховатости стенок \bar{h}_R

L/R	$\varepsilon = 1$			$\varepsilon = 0,9$			$\varepsilon = 0,8$		
	$h/R = 0$	$h/R = 0,1$	$h/R = 0,2$	$h/R = 0$	$h/R = 0,1$	$h/R = 0,2$	$h/R = 0$	$h/R = 0,1$	$h/R = 0,2$
0,2	0,9100	0,8938	0,8771	0,9161	0,9082	0,8836	0,9261	0,9118	0,8917
0,4	0,8354	0,8074	0,7779	0,8524	0,8258	0,7893	0,8655	0,8368	0,8022
0,6	0,7725	0,7327	0,6888	0,7979	0,7649	0,7077	0,8120	0,7692	0,7220
1	0,6713	0,6205	0,5587	0,6943	0,6443	0,5833	0,7247	0,6679	0,6031
2	0,5170	0,4547	0,3961	0,5426	0,4831	0,4169	0,5813	0,5159	0,4425
4	0,3567	0,3085	0,2579	0,3896	0,3292	0,2776	0,4258	0,3647	0,3022
6	0,2740	0,2302	0,1838	0,3062	0,2496	0,2009	0,3430	0,2834	0,2220
10	0,1930	0,1590	0,1220	0,2109	0,1762	0,1350	0,2465	0,1965	0,1513
20	0,1088	0,08918	0,06774	0,1275	0,1064	0,07654	0,1488	0,1153	0,08711
40	0,05892	0,04905	0,03572	0,07080	0,05830	0,04232	0,08488	0,06233	0,04708
60	0,03908	0,03263	0,02412	0,04670	0,04010	0,02828	0,05877	0,04557	0,03269
100	0,02518	0,02022	0,01462	0,03180	0,02380	0,01718	0,03785	0,02742	0,01945

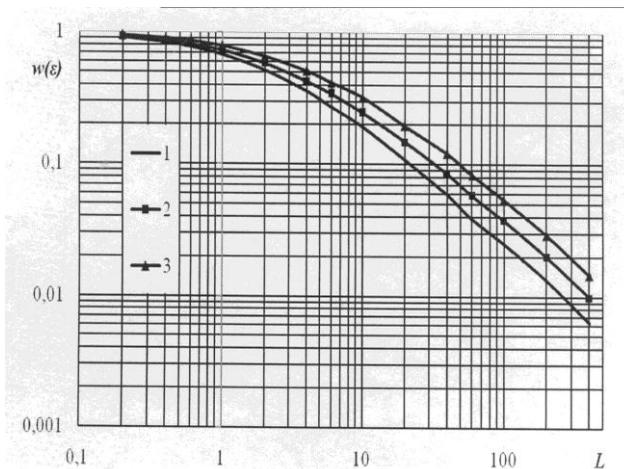


Рисунок 2. Газодинамическая проводимость как функция относительных длины и доли диффузно рассеянных частиц при относительной высоте неровностей $\bar{h}_R = 0,2$. 1,2,3 — $\varepsilon = 1, 0,8, 0,6$ соответственно.

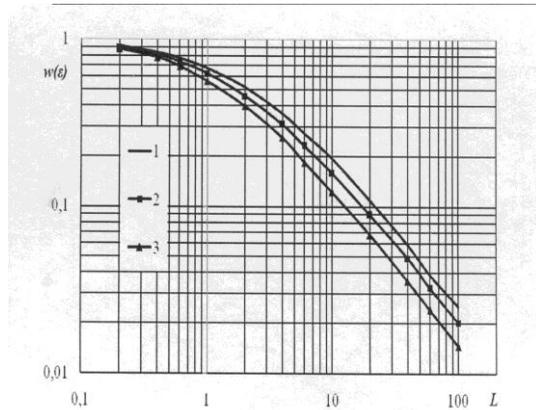


Рисунок 3. Газодинамическая проводимость как функция относительных длины и шероховатости при диффузном рассеянии частиц 1,2 и 3 — $\bar{h}_R = 0, 0,1, 0,2$ соответственно.

Таблица 3

Сравнение результатов с данными, полученными другими методами

L	1	2	4	10	20	40	100	200	400
w	0,67 13	0,51 7	0,35 67	0,19 3	0,10 88	0,058 92	0,025 18	0,013 25	0,006 34
w [3]	0,67 2	0,51 36	0,35 89	0,19 73	0,11 35	0,061 3	0, 0258	-	-
w2 [4]	0,67 2	0,51 7	0,35 6	0,19 0	0,11 1	0,060	0,024	-	-
w ($\varepsilon=0,8$)	0,72 47	0,58 13	0,42 58	0,24 65	0,14 88	0,084 88	0,037 85	0,020 06	0,009 94
w ($\varepsilon=0,8$) [4]	0,72 5	0,57 8	0,43 0	0,24 6	0,14 7	0,082	0,036	-	-

В [1] показано, что это отличие очевидно и связано с тем, что равновесная плотность n_0 наблюдается на границе расчетной области, разделяющей область равновесного и неравновесного состояний газа и расположенной на расстоянии в $(0,5-2)d$ от входного или выходного сечений в зависимости от относительной длины L канала.

Увеличение доли зеркально-отраженных частиц $(1-\varepsilon)$ гладкими стенками увеличивает вероятность прохождения w цилиндрического канала любой длины (табл. 1 и 2). Причем, для длинных капилляров ($L \gg 1$) она увеличивается на величину, приближающуюся к известному множителю $(2-\varepsilon)/\varepsilon$ с увеличением $L > 100$.

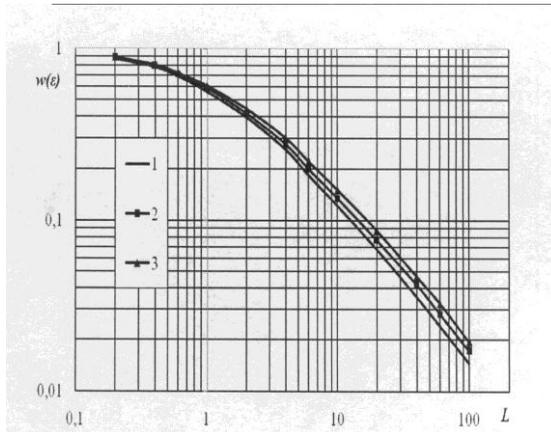


Рисунок 4. Газодинамическая проводимость как функция относительных длины и доли диффузно рассеянных частиц при относительной высоте неровностей $\bar{h}_R = 0,2, 1,2,3$ — $\varepsilon = 1, 0,9, 0,8$ соответственно.

Что касается влияния микрошероховатости стенок на газодинамическую проводимость $w(\bar{h}_R)$, то как видно в табл.1 и 2, а также на рис. 3, она с увеличением относительной шероховатости стенок \bar{h}_R уменьшается в случае полного ($\varepsilon=1$) диффузного рассеяния частиц каждой элементарной площадкой шероховатой поверхности. Но она увеличивается с увеличением доли зеркально ($\varepsilon=0$) отраженных частиц и относительной длины L до $w(\bar{h}_R, \varepsilon = 0) = 1$ для цилиндрических капилляров с $L \gg 1$. На первый взгляд результат взаимодействия газовых частиц с микрошероховатой поверхностью кажется парадоксальным, однако он аналогичен по физической природе взаимодействию светового луча с поверхностью, который отражается зеркально от гладкой поверхности и диффузно от шероховатой.

С помощью усовершенствованной программы, позволившей сократить машинное время счета на два порядка и более, рассчитана газодинамическая проводимость цилиндрических капилляров относительной длины $0 < L < 400$ с микрошероховатыми стенками и с относительной высотой неровностей $0 < \bar{h}_R < 0,2$ с долей диффузно рассеянных частиц $\varepsilon=1-0,6$. Сравнение показывает удовлетворительное согласие результатов с имеющимися данными других авторов, полученных

для капилляров с гладкими стенками, а также увеличения вероятности прохождения с увеличением доли зеркально отраженных частиц.

Обнаружено численным экспериментом, что наличие микрошероховатостей на стенке каналов уменьшает его газодинамическую проводимость с увеличением величины относительной шероховатости стенок при полностью диффузном рассеянии частиц на каждой элементарной площадке шероховатой поверхности. Увеличение же доли зеркально отраженных частиц с увеличением относительной шероховатости приводит к еще большему уменьшению газодинамической проводимости.

Список литературы:

1. Берд Г. Молекулярная газовая динамика. М.: Мир, 1981, 319 с.
2. Породнов Б.Т. и др. Разработка пакета прикладных программ расчета проводимостей и распределений газодинамических параметров в различных элементах вакуумных систем при произвольном режиме течения. Екатеринбург. УГТУ-УПИ. Отчет по НИР №52/16/3226, 2004. 40 с.
3. Саксаганский Г.Л. Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах. М.: Атомиздат, 1980, 216 с
4. Ухов А.И., Породнов Б.Т., Борисов С.Ф. Аккомодация энергии тепла гелия на чистой и частично заполненной адсорбатом поверхности вольфрама. Перспективные материалы. Специальный выпуск № 8. Февраль 2010, 42—48 с.

3.2. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

О ВЫБОРЕ РЕЖИМА СТЕКЛОВАНИЯ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

Волков Петр Вячеславович

аспирант ЧГПУ, г. Челябинск

E-mail: peter-007@mail.ru

Брызгалов Александр Николаевич

д-р. физ.-мат. наук, профессор ЧГПУ, г. Челябинск

E-mail: brizgalovan@cspu.ru

Живулин Дмитрий Евгеньевич

аспирант ЧГПУ, г. Челябинск

E-mail: zhivulinde@cspu.ru

Кварцевое стекло — материал, нашедший широкое применение в промышленности, оптике, технике и других областях народного хозяйства. Способы получения кварцевых стекол сильно отличаются от способов получения многокомпонентных технических стекол. Это связано с высокой вязкостью расплава кремнезема и тугоплавкостью кристаллических модификаций диоксида кремния. Производство высококачественного кварцевого стекла зависит от множества факторов, в том числе от режима стеклования [5]. Несмотря на значительное число работ, посвященных изучению кварцевых стекол и представленных в [4], закономерности этого процесса исследованы далеко не в полной мере.

Целью настоящей работы является установление зависимости совершенства субструктуры кварцевого стекла от температурного режима стеклования.

Возможные технологические дефекты стекла [1; 3], такие как макровключения, неоднородности, газовые пузыри, сколы и т.п. определялись методом оптической микроскопии (рис. 1). Субструктура также выявлена микроскопией после применения метода химического травления. Влияние структурных дефектов на режим стеклования в данной работе не рассматривалось.



Рисунок 1. Морфология поверхности кварцевого стекла с технологическими дефектами. ×500

Эксперимент проводился на стеклах КУ-1 размером $20 \times 20 \times 3$ мм³, синтезированных методом высокотемпературного гидролиза SiCl_4 в факеле водородно-кислородного пламени.

Образцы были получены разными температурными режимами охлаждения расплава: быстрым охлаждением с $t=1500^\circ\text{C}$ и медленным — с $t=1300^\circ\text{C}$.

С целью установления субструктуры образцы подвергли травлению. Считается, что основным веществом, активно взаимодействующим со стеклом и кварцем, является плавиковая кислота. При травлении основная химическая реакция происходит между кислотой и диоксидом кремния, из которого образована структурная сетка стекла. Продукт реакции — газообразный фторид кремния, удаляющийся из зоны реакции. Кроме HF в раствор, в зависимости от характера обработки, могут входить и некоторые другие компоненты, например, концентрированная серная кислота.

Однако этот метод травления имеет ряд недостатков: глубокое поверхностное разрушение материала, токсичность HF и т. д. Поэтому модификация метода была осуществлена следующим образом: химическое травление проводилось 20% раствором NH_4F при $t=50^\circ\text{C}$ в течение 20 минут с применением ультразвуковой ванны для ускорения процесса и удаления продуктов травления. Результаты представлены на рис.2:

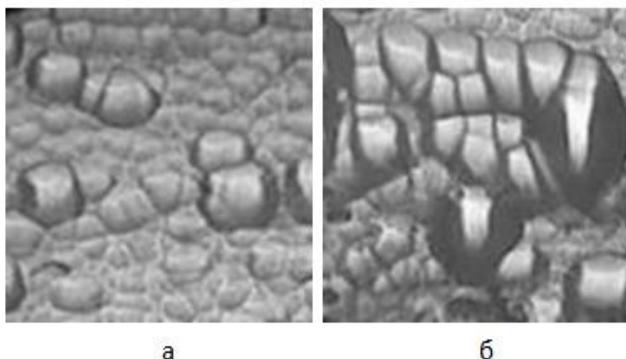


Рисунок 2. Субструктура поверхностей стекол после травления. $\times 500$ (а — быстрое охлаждение с $t=150^{\circ}\text{C}$, б — медленное охлаждение с $t=1300^{\circ}\text{C}$)

Субструктура образуется в результате распределения энергии, излучаемой в процессе стеклования расплава. Часть энергии (диссипативная) рассеивается на дефектах и в окружающую среду, а другая часть — в результате низкой теплопроводности материала, сохраняется и распределяется внутри расплава, образуя ячеистость [2].

При охлаждении расплава происходит процесс структурного стеклования. Состояние стекла и его субструктура определяются начальной температурой и временем стеклования, а разница в плотностях исходного сырья — кварца ($\rho=2,65 \text{ г/см}^3$) и полученного из него стекла ($\rho=2,20 \text{ г/см}^3$) заполняется газом и ионами гидроксильных групп — ОН.

При быстром охлаждении (рис. 2а), начиная с $t=1500^{\circ}\text{C}$ и вязкости $\eta\sim 10^8 \text{ П}$, формируется мелкоячеистая высокопрочная субструктура. На этом участке крупные пузыри всплывают по закону Паскаля, т. е. происходит так называемая «самоочистка» поверхности.

При медленном охлаждении (рис. 2б), начиная с $t=1300^{\circ}\text{C}$ и вязкости $\eta\sim 10^{10} \text{ П}$, образуется крупноячеистая субструктура, т.к. пузыри остаются в расплаве. Этот дефект проявляется при механической обработке в виде сколов. На последней стадии свободный объем, заполненный пузырями, составляет $\sim 12\%$ всей площади. При быстром охлаждении ниже $t=1000^{\circ}\text{C}$ образуются трещины.

Таким образом, скорость и начальная температура охлаждения расплава, т. е. режим стеклования, является определяющим фактором для получения равномерной мелкоячеистой субструктуры кварцевого стекла. Чем мельче размер субструктуры, тем более высокими упругими свойствами будет обладать материал.

Список литературы:

1. Волков П.В. Влияние состояния поверхности на форму ИК-спектров кварцевого стекла [Текст] / П.В. Волков, А.Н. Брызгалов, Д.Е. Живулин // Наука в современном обществе: материалы II Международной научной конференции. — Ставрополь: Центр научного знания «Логос», 2012. — С. 153 — 155
2. Волков П.В. Некоторые особенности механической и химической обработок поверхности силикатного стекла [Текст] / П.В. Волков, А.Н. Брызгалов, Д.Е. Живулин // «Вопросы естественных наук: биология, химия, физика»: материалы международной заочной научно-практической конференции. (04 апреля 2012 г.) — Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. — С. 134 — 138
3. Волков П.В. Структура и дефекты кварцевого стекла марки КУ-1 [Текст] / П.В. Волков, А.Н. Брызгалов, Д.Е. Живулин // Достижения и перспективы естественных и технических наук: материалы I Международной научно-практической конференции. — Ставрополь: Центр научного знания «Логос», 2012. — С. 167 — 170
4. Лeko В.К., Мазурин О В. Свойства кварцевого стекла. М.: Наука, 1985. 168 с.
5. R. Brückner “Silicon Dioxide” // Encyclopedia of Applied Physics, vol. 18, 1997

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКАНСИЙ НА МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ В МОНОСЛОЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА

Сержантова Мария Викторовна
ассистент СибГАУ, г. Красноярск
E-mail: sunrise.86@mail.ru

Кузубов Александр Александрович
канд. физ. - мат. наук, доцент СФУ, г. Красноярск
E-mail: alex_xx@rambler.ru

Михалев Юрий Глебович
д-р хим. наук, профессор СФУ, г. Красноярск
E-mail: alex99@iph.krasn.ru

Монослой гексагонального нитрида бора с вакансиями — является примером возникновения намагниченности в плоских структурах [2-4], в котором спонтанная намагниченность в отсутствии дефектов

не существует. В работе [4], как отмечалось ранее, получили спонтанную намагниченность в присутствии примесей замещения (C_B , C_N) или вакансий (V_B , V_N) в структуре h-BN. Спин-поляризованные расчеты для C_B - и C_N -дефектов показывают намагниченность монослоя h-BN, которая составляет $1,0 \mu_B$ на один дефект. При вакансионных дефектах V_B и V_N в системе наблюдается спиновая поляризация, которая приводит к появлению магнитных моментов с величинами $3,0$ и $1,0 \mu_B$, соответственно. Это объясняется тем, что при удалении атома азота из монослоя h-BN, структура имеет только один неспаренный электрон, а при удалении атома бора в системе появляется три неспаренных электрона.

Таким образом, появление одиночной вакансии может приводить к возникновению локальных магнитных моментов. Однако до сих пор остается открытым вопрос о наличии магнитного упорядочения в случае высокой концентрации вакансий. Поэтому проводилось исследование магнитных свойств вакансий в монослое h-BN. В частности, исследовалось влияние расстояния между вакансиями на переход ферромагнетик-антиферромагнетик.

Объекты и методы исследования

Расчеты проводились в рамках формализма функционала плотности (DFT) [5] с градиентными поправками (PBE) с использованием пакета VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package) [6; 7; 9]. В ходе вычислений применялся псевдопотенциал Вандербиля (Vanderbilt ultrasoft pseudopotential) [10]. Программа, в которой выполнялись расчеты, работает с использованием периодических условий, вследствие этого, для моделирования монослоя, по нормали к его плоскости был задан вакуумный промежуток (15 \AA). Значение вакуумного промежутка подбиралось исходя из предположения, что на данном расстоянии слои h-BN, находящиеся в соседних суперячейках, не будут оказывать влияния друг на друга. Обратное пространство в первой зоне Бриллюэна [1] автоматически разбивалось на сетку по схеме Монхорста-Пака [8], количество k-точек вдоль каждого из направлений составляло $2 \times 2 \times 1$. При расчетах плотности состояния количество k-точек составляло $6 \times 6 \times 1$. Все расчеты в работе проводились с максимальным значением энергии плоских волн 348.1 eV . При оптимизации геометрии минимальное значение сил в работе составляло 0.01 eV / atom .

На первом этапе рассчитывался монослой h-BN без вакансий. В данном случае моделировалась гексагональная элементарная ячейка, содержащая два атома. Далее для монослоя h-BN рассматривалось три вида суперячеек с вакансиями: содержащих $6 \times 6 \times 1$ (68 атомов), $8 \times 8 \times 1$ (124 атома) и $10 \times 10 \times 1$ (196 атомов) элементарных ячеек. Каждая смоделированная суперячейка содержала четыре вакансионных дефекта.

Подобные суперячейки были выбраны, чтобы выполнить условие равномерного удаления вакансий друг от друга. Таким образом, моделировались структуры с однородным распределением вакансий и различными концентрациями.

Результаты и обсуждение

Исследовалось ферромагнитное, антиферромагнитное и диамагнитное состояния. Ферромагнитное состояние было получено автоматически при использовании спин-поляризованного расчета в программе VASP, которое предполагает начальное заселение системы электронами с одинаково направленной проекцией спина. Антиферромагнитное состояние в исследуемых соединениях задавалось посредством чередования магнитных моментов на атомах, окружающих вакансию. Для сравнения был проведен не спин-поляризованный расчет (диамагнитное состояние вещества), который не учитывает магнитное взаимодействие. Расчеты показали, что диамагнитное состояние является энергетически невыгодным (таблица 1).

Таблица 1.

Магнитные свойства монослоя h-BN с вакансиями бора и азота

Соединение	Концентрация вакансий, %	Расстояние между вакансиями (r), Å	M, μ_B	ΔE_{F-AF} , эВ	$\Delta E_{\text{немаг-маг}}$, эВ
Монослой h-BN с вакансиями бора	5,56	7,5	1,7	0,3378	0,1394
	3,13	10,0	2,2	-0,0670	0,9843
	2,00	12,5	2,3	-0,0323	1,1834
Монослой h-BN с вакансиями азота	5,56	7,5	0,9	-0,0079	0,2174
	3,13	10,0	0,9	0,0080	0,2570
	2,00	12,5	0,9	0,0007	0,2882

Для монослоев h-BN магнитный момент в системе появляется при вакансиях как бора, так и азота. В обоих случаях атомы, окружающие вакансию, равноудалены друг от друга, димеризация не наблюдается. Спиновая плотность равномерно распределена на атомах, окружающих вакансию, при этом проекции спинов имеют одинаковое направление (рисунок 1).

В случае вакансий бора по мере увеличения расстояния между вакансиями наблюдается переход от антиферромагнитного к ферромагнитному упорядочению, а для вакансий азота характерна обратная ситуация, т. е. переход от ферромагнитного к антиферромагнитному состоянию (таблица 1).

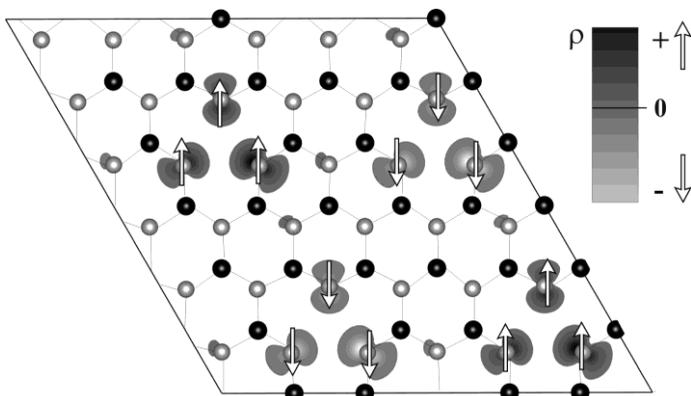


Рисунок 1. Локализация магнитных моментов для антиферромагнитного состояния монослоя h-BN с вакансиями азота. Черным цветом обозначены атомы азота, серым — бора; стрелками указано направление проекции магнитного момента

Таким образом, в ходе проведенных теоретических исследований было установлено, что присутствие вакансий в монослое h-BN приводит к появлению магнитного момента. Показано, что при высоких концентрациях вакансий будут возникать магнитоупорядоченные состояния. При увеличении расстояния между вакансиями возможен переход от антиферромагнитного к ферромагнитному состоянию и наоборот, в зависимости от типа вакансий. Подобное явление дает новые возможности использования вакансий монослое h-BN для внедрения и управления магнитным упорядочением.

Анализ данных, полученных в ходе спин-поляризованных расчетов, показал, что в монослое гексагонального нитрида бора с вакансиями бора или азота возможно магнитное упорядочение. Изменение расстояние между вакансиями вызывает переход ферромагнетик-антиферромагнетик.

Авторы выражают благодарность Институту Компьютерного моделирования СО РАН г. Красноярск, Межведомственному Суперкомпьютерному центру РАН г. Москва, а также Комплексу высокопроизводительных вычислений ИКИТ СФУ г. Красноярск за предоставление возможности использования вычислительных кластеров, на которых и были произведены все расчеты.

Список литературы:

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела: учеб. пособие. М.: Наука, 1978. — 791 с.
2. Кузубов А.А., Сержантова М.В. и др. Теоретическое исследование вакансий и адатомов в белом графене // Письма в ЖЭТФ. — 2011. — 93 (6), 368.
3. Сержантова М.В., Кузубов А.А. и др. Теоретическое исследование влияния вакансий на электронную структуру монослоя h-BN // ЖЭТФ. — 2011. — 139 (4), 764.
4. Azevedo S., Kaschny J.R. and et.al. Electronic structure of defects in a boron nitride monolayer // Eur. Phys. J. B. — 2009. — 67, 507—512.
5. Kohn W. and Sham L.J. Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects // Phys. Rev. B. — 1965. — 140, A1133.
6. Kresse G. and Hafner J., et al. Ab initio molecular dynamics for liquid metals // Phys. Rev. B. — 1993. — 47, 558.
7. Kresse G. and Hafner J., et al., Ab initio molecular-dynamics simulation of the liquid-metal-amorphous-semiconductor transition in germanium // Phys. Rev. — 1994. — B 49, 14251.
8. Monkhorst H.J. and Pack J.D. On Special Points for Brillouin Zone Integrations // Phys. Rev. B. — 1976. — 13, 5188.
9. Perdew J.P., Chevary J.A., S., et al. Erratum: Atoms, molecules, solids, and surfaces: Applications of the generalized gradient approximation for exchange and correlation // Phys. Rev. B. — 1993. — 48, 4978.
10. Vanderbilt D. Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism // Phys. Rev. B. — 1990. — 41, 7892.

«ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ»

Материалы международной заочной научно-практической
конференции

23 июля 2012 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 30.07.12. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 5,75. Тираж 550 экз.

Издательство «Сибирская ассоциация консультантов»
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3