

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 681.3.06

**В. Н. ЗАДОРОВЫЙ**Омский государственный  
технический университет

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ В ОДНОРОДНЫХ НЕМАРКОВСКИХ СЕТЯХ С ОЧЕРЕДЯМИ

Решается задача оптимального распределения каналов по узлам однородной немарковской сети с очередями. Минимизируется функционал от суммы штрафов за очереди.

Ключевые слова: сети с очередями, моделирование, оптимизация.

### 1. Введение

Если узлами сети массового обслуживания (СеМО) являются системы массового обслуживания (СМО), в которых время обслуживания распределено не обязательно по экспоненциальному закону, и/или если входной поток заявок сети (когда она открытая) не обязательно пуассоновский, то сеть является немарковской СеМО (немарковской сетью с очередями).

Время прохождения заявки через сеть, в соответствии с его интерпретацией, используемой при моделировании информационно-вычислительных систем, будем называть временем ответа. Среднее время ответа  $E$  зависит от того, как имеющиеся ресурсы сети распределены между ее узлами [1–3]. В общем случае для расчета  $E$  и оптимизации распределения ресурсов приходится использовать имитационное моделирование (ИМ) [3], расплачиваясь за использование его

универсальных возможностей большими затратами машинного времени, необходимыми для достижения приемлемой точности вычисляемых статистических оценок. Ускорить решение оптимизационных задач можно с помощью асимптотических [2] или эмпирических [3] аппроксимаций отклика модели, позволяющих быстро ориентироваться в ее факторном пространстве (ФП).

Применяемая аппроксимация отклика может быть довольно грубой, если на любом шаге поиска оптимума ее можно за счет ИМ эффективно корректировать для более точного описания отклика в исследуемой зоне ФП. Поскольку ИМ используется, как правило, для решения задач, не разрешимых аналитическими методами, то качество ускоренных аналитико-имитационных методов оценивают экспериментально, путем решения тестовых задач. В статье формулируется задача оптимального распределения кана-

лов по узлам немарковской СеМО, рассматриваются возможные методы ее решения, предлагается ускоренный аппроксимационный метод и оценивается его эффективность.

## 2. Задача распределения каналов

Немарковская СеМО,  $N > 1$  узлов которой есть СМО типа  $\bullet | GI | n | \infty$ , усиливается путем ввода в ее состав  $M \geq 1$  дополнительных каналов. Все каналы в сети технически идентичны, и любой из вводимых каналов можно добавлять в состав любого узла. Различие функций распределения вероятностей (ф.р.в.)  $B_i(t)$  у времени обслуживания заявок в узлах  $i = \overline{1, N}$  связано с разной трудоемкостью работ, выполняемых разными узлами. Каналы в составе одного узла характеризуются одинаковыми ф.р.в. времени обслуживания. При этом среднее время  $b_i$  обслуживания в  $i$ -м узле может зависеть от числа  $n_i$  его каналов. При увеличении  $n_i$  интенсивность  $\mu_i = b_i^{-1} = \mu_i(n_i)$  обслуживания в канале узла может снижаться (из-за потерь производительности, связанных с необходимостью согласования работы каналов, как, например, при параллельной работе нескольких процессоров) или повышаться (в силу эмерджентного эффекта). Зависимости  $\mu_i(n_i)$  естественно считать монотонными. Целью усиления сети в частном случае является снижение среднего времени ответа  $E$ : при заданных функциях  $\mu_i(n_i)$  и заданном распределении  $\mathbf{n}_0 = (n_{01}, \dots, n_{0N})$  имеющихся каналов по узлам  $1, \dots, N$  требуется найти такое распределение  $\mathbf{m} = (m_1, \dots, m_N)$  дополнительных  $M$  каналов (где  $m_i \geq 0$  — число каналов, добавляемых в  $i$ -й узел), которое минимизирует  $E$ . В общем случае требуется минимизировать некоторый функционал  $F$  от линейной комбинации средних длин очередей:

$$F\left(\sum_{i=1}^N c_i q_i\right) \rightarrow \min_{\mathbf{m}}, \quad \|\mathbf{m}\| = M, \quad m_i \geq 0, \quad (1)$$

где  $q_i = q_i(\mathbf{n}) = q_i(\mathbf{n}_0 + \mathbf{m})$  — средняя длина очереди в  $i$ -м узле,  $c_i$  — стоимостные коэффициенты (штрафы за очереди),  $\|\mathbf{m}\| = m_1 + \dots + m_N$ ,  $\mathbf{n} = (n_1, \dots, n_N)$ .

В [4] изучается близкая по смыслу задача распределения непрерывного ресурса, определяющего интенсивности обслуживания  $\mu_i$  в узлах марковской сети. В [3] эта задача решается для однородных немарковских сетей.

Задачу минимизации среднего времени ответа  $E \rightarrow \min_{\mathbf{m}}$  приведем к виду (1) следующим образом.

Выразим время  $E$  через показатели узлов [2, 3]:

$$E = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot (w_i + b_i) = \sum_{i=1}^N \alpha_i b_i + \sum_{i=1}^N \alpha_i w_i, \quad (2)$$

где  $w_i$  — среднее время ожидания в  $i$ -м узле,  $\alpha_i$  — частота посещений  $i$ -го узла проходящей через сеть заявкой. Частоты  $\alpha_i$  определяются через переходные вероятности  $p_{ij}$  уравнениями баланса:  $\alpha_i = \sum_{j=0}^N \alpha_j p_{ji}$ ,  $i = \overline{0, N}$ ,  $\alpha_0 = 1$ . Из (2) с учетом равенства  $\Lambda \alpha_i = \lambda_i$  (здесь  $\lambda_i$  — интенсивность потока заявок, входящего в  $i$ -й узел) и равенства  $\lambda_i w_i = q_i$  получаем:

$$E = \sum_{i=1}^N \alpha_i b_i + \Lambda^{-1} \sum_{i=1}^N q_i. \quad (3)$$

Интенсивность  $\Lambda$  входящего в сеть потока заявок в открытой сети известна и постоянна. Известны также все  $b_i = 1/\mu_i(n_i)$ . С учетом этого из (3) видим, что для открытой сети задача  $E \rightarrow \min_{\mathbf{m}}$  является задачей

(1). В замкнутой сети известно постоянное число  $L$  находящихся в ней заявок. Из (3) с учетом формулы

Литтла  $\Lambda E = L$  имеем  $E = \sum_{i=1}^N \alpha_i b_i + \frac{E}{L} \sum_{i=1}^N q_i$ , откуда

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i b_i}{1 - L^{-1} \sum_{i=1}^N q_i}. \text{ Задача } E \rightarrow \min_{\mathbf{m}} \text{ для замкнутой сети}$$

также приведена к виду (1).

## 3. Методы решения

Возможные методы решения задачи (1) рассмотрим на примере открытой тестовой сети, изображенной на рис. 1 слева.

Интенсивность пуассоновского входного потока тестовой сети  $\Lambda = 1$ . Ф.р.в.  $B_i(t)$  времени обслуживания в узлах и фиксированные  $\mu_i = \mu_{0i}$ , не зависящие от  $n_i$ , указаны в табл. 1, где  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{M}$  и  $\mathbf{E}^2$  обозначают, соответственно, равномерное (на интервале от нуля до двух средних), экспоненциальное и Эрланга (второго порядка) распределения. Значения переходных вероятностей  $p_{ij}$  указаны на рис. 1. Путем ИМ исходной сети определены время  $E \approx 15.8$  (единицы времени условные) и средние длины очередей  $q_i$  в узлах, приведенные в табл. 1. Длина прогона модели (определяемая прохождением через сеть 1 млн заявок) обеспечивает расчет  $E$  и  $q_i$  с приемлемой (в пределах 1–3%) относительной погрешностью. Справа на рис. 1 показан вариант добавления к исходной сети  $M = 3$  дополнительных каналов (помещенных в узлы 4, 5 и 7), снижающий время ответа до  $E \approx 9.39$ . Точный нижний предел для  $E$ , достигаемый при бесконечном числе каналов во всех узлах, составляет  $E_{\infty} = 6.47$ . Найдем оптимальное в смысле

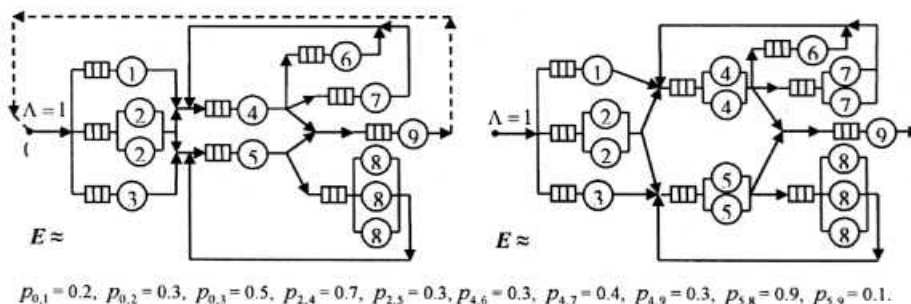


Рис. 1. Исходная тестовая сеть (слева) и сеть с усиленными узлами 4, 5 и 7 (штриховая линия соответствует замкнутой версии тестовой сети)

Таблица 1

Характеристики узлов исходной сети и ее пробного варианта

Исходная сеть	Номер $i$ узла	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Число каналов $n_{i0}$	1	2	1	1	1	1	1	3	1
	Вид ф.р.в. $B_i(t)$	R	R	R	M	M	E <sup>2</sup>	E <sup>2</sup>	E <sup>2</sup>	M
	Интенсивность обслуживания $\mu_{i0}$	0.3	0.3	0.8	1.8	7.25	0.8	0.8	5.5	2.25
	Средняя длина очереди $q_i$	0.908	0.232	0.708	2.15	3.42	0.418	1.20	0.032	0.353
Пробный вариант	Число каналов $n_{i0} + m'_i = n_{i0} + 1$	2	3	2	2	2	2	2	4	2
	Средняя длина очереди $q_i$	0.059	0.034	0.0485	0.118	0.159	0.029	0.074	0.0053	0.023

Таблица 2

Характеристики узлов оптимально усиленной сети

Номер узла	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число каналов	1	2	1	2	2	1	2	3	1
Средняя длина очереди	0.90	0.23	0.70	0.10	0.13	0.43	0.067	0.027	0.34

критерия  $E \rightarrow \min$  размещение трех дополнительных каналов в сети.

Оптимальный вариант усиления тестовой сети можно найти путем ИМ всех  $C_{N+M-1}^M = C_{11}^3 = 165$  возможных распределений  $M = 3$  дополнительных каналов по  $N = 9$  узлам. В результате моделирования этих 165 вариантов, занявшего около 4 часов компьютерного времени, найдено оптимальное решение: именно оно и представлено на рис. 1 справа. Характеристики узлов найденного оптимального варианта сети приведены в табл. 2.

Понятно, что при усилении сетей с сотнями узлов и десятками дополнительных каналов выполнять ИМ всех вариантов распределения каналов практически невозможно. Решение задачи можно ускорить, используя квазиградиентный метод поиска локального минимума. Начиная с произвольного текущего решения  $\mathbf{m} = (m_1, \dots, m_N)$ , отвечающего условиям  $\mathbf{m} \geq 0$ ,  $\|\mathbf{m}\| = M$ , будем сравнивать время ответа  $E = E(\mathbf{n}_0 + \mathbf{m})$  со временем  $E(\mathbf{n}_0 + \mathbf{m}')$ , получаемым для каждого «соседнего» решения  $\mathbf{m}' = (m'_1, \dots, m'_N)$ , отвечающего условиям  $\mathbf{m}' \geq 0$ ,  $\|\mathbf{m}'\| = M$ ,  $\sum_i |m_i - m'_i| = 2$ . Наилучшее из «соседних» решений, если оно лучше текущего, примем в качестве нового текущего решения. Процесс будем повторять, пока не получим такое текущее решение, которое лучше любого «соседнего». Полученное локально оптимальное решение примем в качестве решения задачи.

Квазиградиентный метод требует на первой итерации выполнить максимум  $1 + N(N-1)$  прогонов модели для оценки начального решения  $\mathbf{m} = (m_1, \dots, m_N)$  и всех «соседних» ему, и на каждой последующей итерации — не более чем по  $N(N-1)$  прогонов. Очевидно, переход, выполняемый от текущего решения к наилучшему «соседнему», означает перемещение одного дополнительного канала из того узла, где его наличие наименее эффективно, в такой узел, где еще один канал наиболее нужен. Поскольку возврат подобных «сильных ходов» маловероятен, то число улучшающих текущее решение итераций обычно не превышает числа  $M$  «находящих свое место» дополнительных каналов, а общее число итераций, включающее финальную попытку улучшения локально оптимального решения, не превышает  $M + 1$ . Таким образом, как правило, общее количество прогонов модели

не превышает  $1 + (M+1)N(N-1) - MN^2$ . При оптимизации квазиградиентным методом тестовой сети (рис. 1) выполнялось, при различных начальных решениях  $\mathbf{m}$ , не более 100 обращений к модели. При этом поиск всегда сходил к глобально оптимальному решению  $\mathbf{m} = (0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0)$ , назначающему три дополнительных канала в узлы 4, 5 и 7.

Более заметного ускорения можно достичь методом последовательного размещения каналов. Вначале выбирается наилучший узел для установки одного дополнительного канала и канал добавляется в этот узел. Затем аналогично выбирается наилучший узел для установки следующего канала и т.д., пока не будут размещены все  $M$  дополнительных каналов. В этом случае необходимо выполнять лишь  $NM$  прогонов модели. Применение данного метода к тестовой сети привело за 27 прогонов к уже известному оптимальному решению: дополнительные каналы последовательно назначались в 5-й, 4-й и 7-й узлы. Наряду с высокой скоростью и точностью последовательный метод имеет еще одно важное преимущество: лицо, принимающее решение, не обязано заранее определять число  $M$  добавляемых каналов. Это число можно обоснованно выбрать в ходе добавления каналов, учитывая получаемый за счет их добавления эффект.

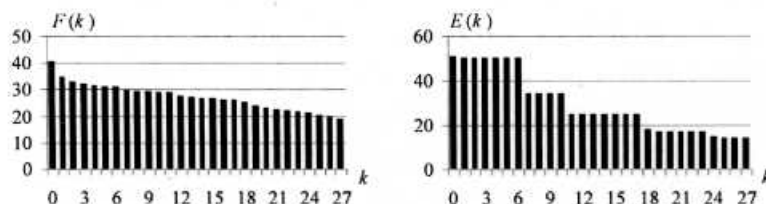
#### 4. Пример применения последовательного метода

Представление о практической пригодности последовательного метода для решения общей задачи (1) можно составить, сравнивая ее решение, получаемое с помощью ИМ, с точным ее решением. С этой целью рассмотрим задачу оптимального усиления замкнутой версии сети, изображенной на рис. 1.

Замкнутая версия отличается следующим. Исходный вариант сети содержит по одному каналу в каждом узле. Ф.р.в.  $B_i(t)$  во всех узлах экспоненциальные. Число заявок в сети равно 50. Параметр  $\Lambda$  для замкнутой сети не задается.

Будем последовательным методом назначать дополнительные каналы в узлы сети, минимизируя целевую функцию  $F(\sum_{i=1}^N c_i q_i) = \sum_{i=1}^N c_i q_i$  при стоимостных коэффициентах  $(c_1, \dots, c_9) = (1.5, 0.7, 1.1, 1.4, 0.8, 1.5, 0.7, 1.2, 0.8)$  и интенсивностях обслуживания  $\mu_i$ , зависящих от числа  $n_i$  каналов в узле:



Рис. 2. Снижение  $F$  и  $E$  на шагах  $k$  усиления замкнутой сети последовательным методом

$$\mu_i(p_i) = \mu_{i0} \cdot p_i^{\beta_i}, \quad i = \overline{1, 9},$$

где коэффициенты нелинейности  $(\beta_1, \dots, \beta_9) = (0.3, 0, -0.4, -0.1, 0.2, -0.2, 0.3, 0.3, -0.5)$ , а константы  $\mu_{i0}$  взяты из табл. 1. Выбор для замкнутой сети экспоненциальных распределений  $B_i(t)$  делает ее марковской и позволяет на основе известных численных методов расчета марковских сетей [4] найти точное решение задачи (1) для сравнения с ним решения имитационного.

Определив замкнутую версию сети и точно следуя изложенным выше инструкциям последовательного метода, распределим по 9 узлам 27 дополнительных каналов при длине прогона модели, определяемой приблизительно 100 тыс. прохождений заявок через сеть. Заметим, что при одинаковой длине прогона моделирование замкнутой версии сети занимает в несколько раз меньше времени, чем моделирование открытой сети с тем же средним числом заявок в ней, поскольку в открытой сети фактическое (случайное) число заявок может на отдельных промежутках времени достигать сколь угодно большой величины, вызывая пропорциональное ей замедление имитации. А точность результатов для замкнутой сети оказывается при этом выше, чем для открытой сети. Применение последовательного метода (и при использовании ИМ, и при точном расчете сети) однозначно определяет для добавления очередного канала на шагах  $k = 1, 2, \dots, 27$  узлы 8, 4, 1, 3, 6, 5, 2, 4, 3, 9, 7, 8, 6, 3, 4, 9, 1, 2, 5, 3, 6, 3, 4, 2, 8, 3, 9 соответственно. Снижение  $F$  в ходе добавления каналов иллюстрирует рис. 2 (слева). При ИМ для надежного сравнения вариантов размещения очередного канала использовался простой и эффективный метод общих случайных чисел [5]. Суммарное время ИМ при решении задачи составило 4.5 мин.

Интересно, что при оптимальном с точки зрения штрафа  $F$  размещении каждого очередного канала штраф  $F$  и среднее время ответа  $E$  монотонно снижаются, но  $E$  снижается весьма неравномерно. Поэтому если бы рассматриваемая задача допускала некоторую свободу выбора для числа  $M$  дополнительных каналов, то  $M$  целесообразно было бы выбирать из ряда 1, 7, 11, 18, ... (рис. 2).

Проверка найденного распределения  $M = 27$  каналов, выполненная точным расчетом  $F$  для «соседних» распределений, показывает, что оно является локально оптимальным. Общее число каналов в узлах 1, ..., 9 получилось при этом равным 3, 4, 7, 5, 3, 4, 2, 4, 4 соответственно, и значение  $F$  составило 19.048. «Справедливое» равномерное распределение каналов по узлам (дающее в итоге все  $p_i = 4$ ), приводит к штрафу  $F = 26.185$ , что на 37 % хуже.

Рассмотренный пример иллюстрирует достаточно высокую для практических приложений точность и приемлемую скорость последовательного метода решения задачи (1) с помощью ИМ. Это позволяет рекомендовать данный метод для оптимизации распределения каналов в немарковских сетях, содержащих десятки или сотни узлов и каналов.

## 5. Аппроксимационный метод оптимизации открытых немарковских сетей с фиксированной производительностью каналов

В случае открытых сетей с фиксированной производительностью каналов радикально ускорить решение оптимизационной задачи (1) позволяет предлагаемая ниже настраиваемая по результатам ИМ аппроксимация зависимости средней длины очереди в узле от числа его каналов. Эта аппроксимация основана на следующей предложенной в [6] эмпирической аппроксимации зависимости среднего времени ожидания  $w$  в изолированной СМО от числа  $n$  ее каналов:

$$w(n) \approx \frac{w(1)}{n^r},$$

$$\text{или, равносильно, } q(n) \approx \frac{q(1)}{n^r}, \quad n \geq 1, \quad (4)$$

где  $w(n)$  и  $q(n)$  — среднее время ожидания и средняя длина очереди (соответственно) в изолированной  $n$ -канальной системе  $G|G|n|_{\infty}$ ,  $r$  — числовой параметр, который зависит от ф.р.в.  $A(t)$  длительности интервалов поступления заявок и от ф.р.в.  $B(t)$  времени их обслуживания. Обе эти ф.р.в. и их средние при изменении числа каналов  $n$  неизменны. Параметр  $r$  для заданных  $A(t)$  и  $B(t)$  можно подбирать с помощью ИМ. Проверка приближения (4) путем ИМ различных систем класса  $G|G|n|_{\infty}$  показывает, что при правильном подборе  $r$  оно имеет удовлетворительную точность в широких диапазонах значений  $n$ .

Перепишем аппроксимацию (4) в следующем обобщенном виде:

$$q(n_0 + m) \approx q(n_0) \left( \frac{n_0}{n_0 + m} \right)^r, \quad n_0, m \geq 1, \quad (5)$$

позволяющем рассчитывать  $q(n_0 + m)$  через известное  $q(n_0)$  при любом  $n_0 \geq 1$ . В (5) не подразумевается, как в (4), что при  $n = 1$  в СМО существует стационарный режим (т.е. что при  $n = 1$  ее коэффициент загрузки меньше единицы). Применяя теперь приближение (5) не к отдельной СМО, а к узлам  $i = \overline{1, N}$  сети, и пренебрегая тем, что это может повлечь ухудшение его точности, запишем:

$$q_i(n_{i0} + m_i) \approx q_i(n_{i0}) \left( \frac{n_{i0}}{n_{i0} + m_i} \right)^{r_i}. \quad (6)$$

Если мы выполним ИМ исходной сети, имеющей  $(n_{10}, \dots, n_{N0})$  каналов в узлах, и ее пробного варианта с  $(n_{10} + m'_1, \dots, n_{N0} + m'_N)$  каналами (например, при  $m'_1 = \dots = m'_N = 1$ ), а затем подставим в (6) известные  $n_{i0}$ ,  $m_i = m'_i$  и найденные при ИМ  $q_i(n_{i0})$ ,  $q_i(n_{i0} + m_i) = q_i(n_{i0} + m'_i)$ , то сможем из (6) найти все  $r_i$ :

$$r_i \approx \frac{\ln[q_i(n_{i0} + m'_i)] - \ln[q_i(n_{i0})]}{\ln n_{i0} - \ln(n_{i0} + m'_i)}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (7)$$

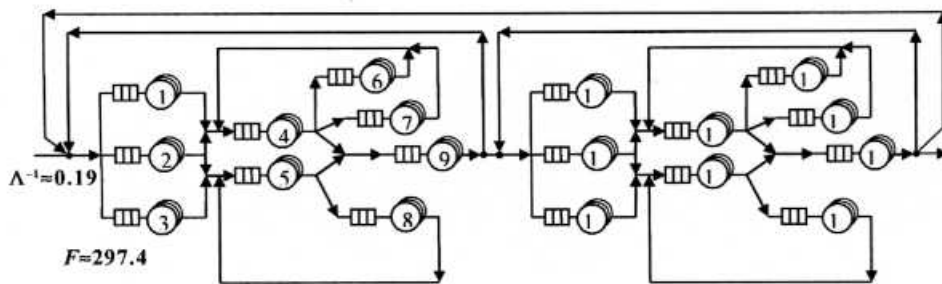


Рис. 3. Тестовая сеть для аппроксимационного метода

Найденные при ИМ значения  $q_i(n_0)$  и рассчитанные по формуле (7)  $r_i$  позволяют приближенно вычислять по формуле (6)  $q_i(n_0 + m_i)$  для любых  $m_i \geq 1$ .

Таким образом, для открытой немарковской сети с фиксированной производительностью каналов задача (1) посредством двух прогонов модели сводится к задаче минимизации приближенного аналитического выражения целевой функции  $F$ , которое получается подстановкой в  $F$  выражений:

$$q_i = q_i(n_0 + m) \approx q_i(n_0) \left( \frac{n_{i0}}{n_{i0} + m_i} \right)^{r_i}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Получаемая аппроксимация задачи (1) легко решается численными методами.

#### 6. Примеры применения аппроксимационного метода

**Пример 1.** Подставляя (8) в (3), получаем приближенную формулу для расчета  $E$  при любых распределениях дополнительных каналов по узлам открытой немарковской сети с фиксированной производительностью каналов:

$$E \approx E^{ap} = \sum_{i=1}^N \alpha_i b_i + \Lambda^{-1} \sum_{i=1}^N q_i(n_0) \cdot \left( \frac{n_{i0}}{n_{i0} + m_i} \right)^{r_i}. \quad (9)$$

Первая сумма в выражении для  $E$  здесь постоянна, т. к. среднее время обслуживания  $b_i$  фиксировано (не зависит от числа каналов в узле), и поэтому при решении задачи  $E \rightarrow \min$  может быть отброшена. Затем можно отбросить постоянный множитель  $\Lambda^{-1}$  перед второй суммой и решать задачу (9) в виде

$$\sum_{i=1}^N q_i(n_0) \cdot \left( \frac{n_{i0}}{n_{i0} + m_i} \right)^{r_i} \rightarrow \min_m, \quad (10)$$

аппроксимирующем ее при значениях  $r_i$ , рассчитанных по формуле (7).

Так, для тестовой открытой сети, представленной на рис. 1, по данным табл. 1 с помощью (7) находим  $(r_1, \dots, r_9) = (3.94, 4.75, 3.87, 4.19, 4.42, 3.84, 4.01, 6.23, 3.94)$ . Это позволяет с учетом значений  $n_{i0}$  и  $q_i(n_0)$ , перечисленных в табл. 1, вычислять (без ИМ) значения целевой функции (10) при любых  $m_i$  и, таким образом, на несколько порядков ускорить поиск оптимального распределения каналов. При этом для его поиска можно использовать любой из рассмотренных в п. 3 базовых методов. Например, применяя последовательный метод и начиная со всех  $m_i = 0$ , находим, что для первого дополнительного канала минимум (10) достигается при его добавлении в узел  $i = 5$ . Поэтому

далее в (10) полагаем  $m_5 = 1$  и находим, что для второго канала наилучшим оказывается узел  $i = 4$ . Аналогично при  $m_5 = 1$  и  $m_4 = 1$  определяем наилучший узел  $i = 7$  для третьего дополнительного канала. Проверка найденного решения  $\mathbf{m} = (0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0)$  с помощью ИМ показывает, что оно является точным. Расчет  $E$  при  $\mathbf{m} = (0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0)$  по приближенной формуле (9) дает оценку  $E \approx 9.47$ , мало (на 1 %) отличающуюся от значения  $E = 9.39$ , вычисленного путем ИМ. Значения  $\alpha_i$  для (9), найденные из уравнений баланса, таковы:  $(\alpha_1, \dots, \alpha_9) = (0.2, 0.3, 0.5, 1.3667, 5.9, 0.41, 0.54667, 5.31, 1.00)$ . Значения  $b_i$  есть  $\mu_{i0}^{-1}$  (см. табл. 1).

**Пример 2.** Открытая сеть на рис. 3 состоит из двух каскадов, отличающихся от открытой сети, изображенной на рис. 1 (слева) следующим. В каждом каскаде добавлен возврат заявок с его выходного узла на входной, выбираемый с вероятностью 0.5. С выхода сети возврат на ее вход выбирается с вероятностью 0.1. Интенсивность входного потока сети (пуассоновского)  $\Lambda = 0.19^{-1} = 5.263$ . Начальное распределение 162 каналов в 18-ти узлах 1 – 19 (узел с номером 10 отсутствует) задается вектором  $\mathbf{n}_0 = (8, 12, 8, 9, 10, 7, 9, 12, 6, 8, 12, 8, 9, 10, 7, 9, 12, 6)$ . Требуется найти распределение 18 дополнительных каналов, доставляющее минимум суммарного штрафа  $F = \sum c_i q_i \rightarrow \min$ , где  $(c_1, \dots, c_{19}) = (1.5, 0.7, 1.1, 1.4, 0.8, 1.5, 0.7, 1.2, 0.8, 0.9, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 0.9, 1.3, 0.9, 1.5)$ .

Выполнив ИМ двух вариантов сети (исходного и с числом каналов, увеличенным во всех узлах на  $m_i' = 2$ ) по формуле (7), находим  $(r_1, \dots, r_{19}) = (15.12, 19.24, 10.95, 18.15, 13.91, 9.10, 10.65, 14.23, 8.76, 14.08, 17.29, 10.46, 17.57, 13.91, 8.87, 9.96, 14.07, 8.63)$ . Далее расчетным путем (без ИМ) решаем последовательным методом задачу  $F = \sum c_i q_i \rightarrow \min$ , используя для расчета  $F$  аппроксимацию (8). В результате 18 дополнительных каналов последовательно определяются в узлы (4, 14, 1, 11, 15, 2, 12, 4, 8, 5, 14, 18, 1, 19, 15, 3, 13, 17). Получаем приближенно оптимальное распределение дополнительных каналов  $\mathbf{m}^* = (2, 1, 1, 2, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 2, 2, 0, 1, 1, 1)$ .

Проверка приближенного решения  $\mathbf{m}^*$  (путем ИМ его «соседних» распределений) позволяет уточнить его. Точное оптимальное решение  $\mathbf{m}^{**}$  получается переносом одного дополнительного канала из 1-го в 6-й узел. Достижимое решением  $\mathbf{m}^*$  значение  $F(\mathbf{n}_0 + \mathbf{m}^*) \approx 38.66$  хуже, чем  $F(\mathbf{n}_0 + \mathbf{m}^{**}) \approx 38.20$ , на 1.2 %. Малая погрешность аппроксимационного метода позволяет заключить, что на практике его можно применять без завершающего этапа уточнения решения, приводящего к дополнительным затратам времени. В этом случае время решения задачи, определяемое временем ИМ, резко снижается: вместо MN прогонов модели, необходимых при непосредственном применении последовательного метода, при использовании аппроксимационного метода требуется

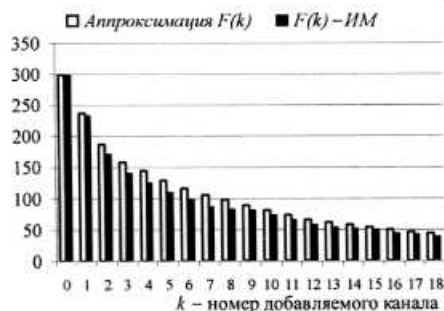


Рис. 4. Снижение суммарного штрафа  $F$  в ходе усиления сети аппроксимационным методом

лишь 2 прогона, т.е. решение ускоряется приблизительно в  $MN/2$  раз, в рассмотренном примере — в 162 раза, т.е. более чем на два порядка. Изменение целевой функции в ходе добавления каналов аппроксимационным методом показано на рис. 4.

Если 18 дополнительных каналов распределить равномерно, по одному каналу в каждый узел, то суммарный штраф составит  $F = 42.02$ , что на 10 % хуже, чем в оптимальном варианте. Если эти 18 каналов последовательно помещать в наиболее загруженные узлы, то штраф  $F$  составит 43.25, что на 13 % хуже, чем в оптимальном варианте. Таким образом, предлагаемый аппроксимационный метод значительно более точен, чем метод равномерного распределения каналов или метод назначения их в наиболее загруженные узлы, но столь же практичен. В конечном счете, он не требует измерения ф.р.в.  $B_1(t), \dots, B_N(t)$ , описывающих сеть, и характеристик входящего в сеть потока заявок. Для его использования даже не обязательно строить модель сети: достаточно измерить средние длины очередей в узлах реальной оптимизируемой сети, и (в натурном эксперименте) в узлах, усиленных одним дополнительным каналом.

**Выводы из примеров.** Аппроксимационный метод распределения каналов является приближенным, поскольку основан на приближенной замене функций  $q_i(n) = q_i(n_0 + m)$   $N$  переменных функциями  $q_i(n) = q_i(n_0 + m_i)$  одного переменного. Удовлетворительная точность такого приближения обусловлена тем, что в открытой стационарной сети изменение числа каналов в узлах не изменяет интенсивностей  $\lambda_j$  потоков, входящих в узлы, т.е. влияет лишь на вторые (и старше) моменты интервалов  $\tau_j$  между заявками в этих потоках. Поэтому изменение числа  $n_j$  каналов в  $i$ -м узле обычно влияет на среднюю длину очереди  $q_i$  сильнее, чем изменение числа каналов  $n_j$  ( $j \neq i$ ), в других узлах.

Изменения вторых моментов интервалов  $\tau_j$  при изменениях числа каналов тем выше, чем выше разброс коэффициентов вариации у распределений  $A_0(t), B_1(t), \dots, B_N(t)$ , где  $A_0(t)$  — ф.р.в. интервалов между заявками входного потока сети (рекуррентного). Следовательно, увеличение разброса коэффициентов вариации приводит к ухудшению точности метода.

В то же время аппроксимационный метод нетрудно достроить до ускоренного точного метода, используя идеи двухэтапного двухуровневого метода параметрической оптимизации немарковских сетей [3].

И, прежде всего, для этого следует блокировать возможные при расчете значений  $\tau_j$  «фатальные» ошибки получения значений  $\tau_j < 0$  (для этого такие значения можно заменять нулями).

## 7. Заключение

В статье сформулирована и аналитико-имитационными методами исследована задача оптимального распределения каналов в сетях массового обслуживания, имеющая широкий спектр приложений в реальных системах с очередями: в производственных, обслуживающих, торговых и финансовых предприятиях, в военном деле, в транспортных и информационных сетях и т.д. Рассмотрены общие методы решения задачи, использующие имитационные моделирование. Наилучшим из них является последовательный метод, приводящий к искомому решению за наименьшее число шагов.

Для открытой немарковской сети с фиксированной производительностью каналов предложен аппроксимационный метод, позволяющий радикально сократить затраты времени на решение задачи. Для получения приближенно оптимального решения он требует лишь двух прогонов имитационной модели. Метод можно эффективно применять для оптимизации сетей, содержащих сотни узлов и тысячи каналов. Он весьма практичен в «промышленном» применении, т.к. позволяет обойтись простыми измерениями, выполняемыми в режиме натурного эксперимента.

## Библиографический список

1. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. — СПб.: КОРОНА принт. М.: Альтекс-А, 2004. — 384 с.
2. Задорожный, В.Н. Методы двухуровневого моделирования систем с очередями / В.Н. Задорожный // Труды VII Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'08. — Москва, 28–31 января 2008 г. — М., 2008. — С. 1484–1563.
3. Задорожный, В.Н. Оптимизация однородных немарковских сетей массового обслуживания / В.Н. Задорожный // Проблемы управления. — 2009. — № 6. — С. 68–75.
4. Вишневецкий, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневецкий. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с.
5. Клейнен, Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Дж. Клейнен; пер. с англ. // под ред. Ю.П. Адлера и В.Н. Варыгина. — М.: Статистика, 1978. — Вып. 1. — 221 с.
6. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование в обосновании методик расчета многоканальных приоритетных систем / Ю.И. Рыжиков // Материалы I Всероссийской конференции (ИММОД-2003). СПб., 23–24 окт. 2003. ФГУП ЦНИИ ТС. — Реж. доступа: <http://www.gpss.ru/immod%2703/index.html>.

**ЗАДОРЖНЫЙ Владимир Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Адрес для переписки: e-mail: [zwn@yandex.ru](mailto:zwn@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 15.12.2009 г.

© В. Н. Задорожный



# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР И ГИПОТЕЗА ОБЩНОСТИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЕДИНООБРАЗИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ПЛАНЕТ ДРУГИХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ

Относительно простые математические модели содержат сложный спектр неравновесных диссипативных структур. Показано, что на выделенном классе открытых и нелинейных сред могут возникать и метастабильно поддерживаться в ограниченном пространстве сложные неравновесные диссипативные структуры. Проведён анализ фундаментальных пространственно-временных соотношений, нацеленных на поиск физических явлений и закономерностей, реализующихся в макро- и мегаскопических масштабах.

**Ключевые слова:** хаос, дискретность, непрерывность, нелинейность, физический вакуум, диффузия, неравновесные диссипативные структуры, плазменно-газовая среда, огненно-жидкая среда.

Сложность наблюдаемой Вселенной определяется очень узким диапазоном значений фундаментальных мировых констант и сечений первичных элементарных процессов. Если бы сечения элементарных процессов в эпоху Большого Взрыва были немного выше, чем они есть в действительности, то Вселенная исчерпала бы свой энергетический ресурс за короткий промежуток времени. Чтобы на микро-, макро-, и мегауровне было возможно существование сложных систем, элементарные процессы на микроуровне изначально должны были протекать очень избирательно.

На основе исследования математических моделей открытых нелинейных сред (систем) обнаружено явление локализации тепловых процессов в виде нестационарных структур, развивающихся в режиме с обострением. Сложный спектр неравновесных структур-аттракторов, отличающихся различными размерами и формами, существует лишь для узкого, уникального класса моделей со степенными нелинейными зависимостями. Все сложное построено чрезвычайно избирательно и эволюционный коридор в сложное очень узок. Эволюционное восхождение по лестнице все усложняющихся форм и структур означает реализацию все более маловероятных событий.

Уровень сложности диссипативной структуры обусловлен когерентностью ее составных частей. Под когерентностью понимается согласование темпов эволюции диссипативных структур посредством диффузионных диссипативных процессов, являющихся микро-, макро- и мегаскопическими проявле-

ниями хаоса. Для построения сложной диссипативной структуры необходимо когерентно соединить подструктуры внутри нее и синхронизировать темпы их эволюции. И в этом случае хаос выступает в качестве «клея», который связывает части сложной структуры в единое целое.

Тогда ключевой проблемой в исследовании процессов самоорганизации устойчивых структур, таких как звезды и звезды с планетными системами, галактики и скопления галактик, порожденных в активной галактической и в активной межгалактической средах, является отыскание механизмов локализации тепла.

Как известно, существенную роль в подобных средах играют диссипативные процессы, размывающие любую возникающую неоднородность. Поэтому теоретически полагалось немислим образование чего-либо устойчивого, способного существовать в течение достаточно длительного промежутка времени, несмотря на неоспоримый факт существования во Вселенной звезд, галактик и скоплений галактик. Однако последние исследования в этой области показали, что в некоторых случаях малое возмущение вместо того, чтобы загаситься за счет действия диссипативных процессов, неимоверно разрастается, захватывая обширные области пространства. Представьте себе сплошную активную среду, т.е. среду, обладающую источниками и стоками энергии. Такая среда однородна и в некоем смысле совершенна. Но через некоторое время именно из-за своей активности и нелинейного характера источников и стоков

энергии (приход и расход энергии или вещества обязательно должны описываться с помощью нелинейных дифференциальных уравнений), в ней начинают возникать динамические структуры определенной конфигурации. Непрерывная однородная среда самоорганизуется, распадается на дискретные структуры, и при этом обнаруживаются механизмы самоорганизации, останавливающие разрушительное действие диффузионных процессов, а кроме того, следует подчеркнуть, что источники и стоки энергии непрерывно распределены в пространстве и находятся в каждой точке этой среды, то есть каждая точка среды излучает и поглощает энергию.

Таким образом, устойчивое неравновесие пронизывает мироздание сверху донизу, обеспечивая на разных уровнях разный ход событий. В одном случае, когда среда однородна, неустойчивость к малым флуктуациям ведет к образованию сложных структур, в другом — к их разрушению. Причем физическим обеспечением неустойчивости выступает всегда присутствующий на микроуровне хаос. Хаос порождает порядок, причем такой порядок, который выражается еще и в том, что возникать могут не какие угодно структуры, а лишь их определенный набор, задаваемый собственными функциями среды. Последние описывают идеальные формы реально возможных образований и являются странными аттракторами, к которым только и может эволюционировать рассматриваемая устойчивая структура.

Странный аттрактор — это именно область в фазовом пространстве, а не все пространство в целом. И это не точка в пространстве, символизирующая стационарное состояние равновесия устойчивой структуры, и не замкнутая кривая, описывающая режим устойчивых колебаний, а область, внутри которой по ограниченному спектру состояний блуждает с определенной вероятностью реальное состояние устойчивой структуры. Поскольку же такая область ограничена (а значит, в какой-то степени предсказуема) и поскольку возможны отнюдь не какие угодно состояния, постольку имеет смысл говорить о наличии здесь элементов детерминизма. Несмотря на то, что мы переходим в сферу вероятностного поведения объекта, вероятность в данном случае не как угодно произвольна — что говорит о необходимости сохранения представлений о детерминизме (пусть и модифицированных). Иными словами, здесь надо четко указать, в каком смысле детерминизм исчез. Детерминизм, утверждающий, что состояния исследуемого объекта будут строго находиться в данной области фазового пространства, — такой детерминизм остался.

Тем не менее понятие странного аттрактора явилось сокрушающим для многих классических представлений, привнося в Мир макро- и мегамасштабных устойчивых структур дух неопределенности, присутствующий в квантовой механике. Раньше, в классических подходах, малые возмущения просто не рассматривались. Однако оказалось, что малые возмущения и флуктуация на микроуровне влияют на макромасштабное поведение устойчивой структуры. И это действительно крайне важный тезис: на макроуровне имеют место явления, принципиально не укладывающиеся в рамки жесткого детерминизма.

В отличие от классической термодинамики, где имелся лишь один конечный пункт эволюционирования — термодинамическое равновесие, в рассматриваемом теоретическом представлении возможно множество путей развития, но опять же: не какое угодно их число, а строго определенное. И в этом плане хотелось бы сделать замечание о неединствен-

ности путей развития, их строгой количественной заданности, а следовательно, если вернуться к предыдущим нашим рассуждениям, к некоей предопределенности или детерминированности, несущей с собой своеобразные правила запрета и налагающей весьма жесткие ограничения на способы существования природных устойчивых структур. Те структуры, которые в силу обстоятельств оказались на запрещенном пути эволюционирования, либо распадаются, погибнут, либо перейдут на допустимый путь и будут двигаться по направлению к соответствующему аттрактору. Саморазвитие и усложнение среды происходит за счет уничтожения запрещенных, нежизнеспособных форм. При этом следует отметить, что в моменты перехода от одного пути к другому — в точках бифуркации — также решающую роль играют малые возмущения, в этих точках также проявляется неустойчивость и нестабильность.

Таким образом, мы видим, сколь сложным путем включается устойчивое неравновесие в современное понимание природы, не отменяя при этом некоторых элементов детерминизма, — детерминизма, вступающего в нетривиальные отношения со свободой выбора.

В открытых активных сплошных средах присутствуют источники и стоки энергии, определяющие вместе с механизмами диссипации характер эволюции сложных диссипативных структур, которая, вообще говоря, приводит сложную диссипативную структуру в некоторое устойчивое состояние, отличное от равновесного. Последнее характерно для изолированных сложных диссипативных структур, для которых выполняется второе начало термодинамики.

Проблема исследования нелинейных сложных диссипативных структур тесно примыкает к фундаментальной проблеме установления законов эволюции неравновесных открытых активных сплошных сред.

Рассмотрим квазилинейное параболическое уравнение диффузии со степенными нелинейными зависимостями температуры  $u(t, x)$  от параметров среды [1]

$$u_t = (u^\sigma \cdot u_x)_x + u^{\sigma+1} - u, \quad (1)$$

$\swarrow \quad \searrow$   
 исток    сток

где  $\sigma > 0$  — параметр,

$t > 0$  — время,

$x \in R$  — пространственная координата.

Уравнение (1) отличается от встречавшихся ранее уравнений диффузии дополнительными членами — истоком и стоком энергии (температуры). Это может существенно менять характер протекания процесса эволюции сложной неравновесной диссипативной структуры.

Будем искать автомоделные решения уравнения (1) в виде произведения двух функций с разделяющимися переменными

$$u(t, x) = \psi(t) \cdot \theta(x), \quad t > 0, \quad x \in R. \quad (2)$$

Подстановка (2) в (1) приводит к задаче

$$\frac{\psi'(t) + \psi(t)}{\psi^{\sigma+1}(t)} = \frac{(\theta^\sigma \cdot \theta')' + \theta^{\sigma+1}}{\theta} = -\lambda = \text{const.}$$

Положим для удобства  $\lambda = -\frac{1}{\sigma}$ . Тогда при использовании методологии, изложенной в [2], решение для функции  $\theta(x)$  получается в виде



$$\theta(x) = \begin{cases} \left( \frac{2(\sigma+1)}{\sigma(\sigma+2)} \cos^2 \frac{\pi x}{L_s} \right)^{\frac{1}{\sigma}}, & |x| < \frac{L_s}{2}, \\ 0, & |x| \geq \frac{L_s}{2}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $L_s = \frac{2\pi(\sigma+1)^2}{\sigma}$  — постоянная, зависящая от  $\sigma$ .

Укажем основные особенности этого решения. Во-первых, оно финитно по  $x$  и является обобщенным: в точках вырождения  $x = \pm \frac{L_s}{2}$  тепловой поток непрерывен. Во-вторых, это режим с обострением:  $u(t, x) \rightarrow \infty$  при  $t \rightarrow T_0$  для любых  $|x| < \frac{L_s}{2}$ . В-третьих,

его носитель  $\text{supp } u(t, x) = \left\{ |x| < \frac{L_s}{2} \right\}$  неизменен в течение всего времени существования решения. И, наконец, весьма важным является то обстоятельство, что полученное решение локализовано, тепло из области локализации  $\left\{ |x| < \frac{L_s}{2} \right\}$  не проникает в окружающее холодное пространство.

Амплитуда решения  $\psi(t)$  легко вычисляется из (2), и в результате приходим к семейству автомодельных решений

$$u(t, x) = e^{-t} \left( \frac{1}{\sigma} e^{-\sigma t} + C_0 \right)^{-\frac{1}{\sigma}} \cdot \theta(x), \quad (4)$$

где  $C_0$  — постоянная.

Каждому из них отвечает начальная функция

$$u(0, x) = \left( \frac{1}{\sigma} + C_0 \right)^{-\frac{1}{\sigma}} \cdot \theta(x), \quad x \in \mathbb{R}. \quad (5)$$

Отсюда вытекает необходимость ограничения

$$C_0 > -\frac{1}{\sigma}.$$

При различных  $C_0$  в (4) существует три вида автомодельных решений, различающихся по характеру пространственно-временной эволюции.

Если  $C_0 = 0$ , то (4) — стационарное решение

$$u(x) = \sigma^{-\frac{1}{\sigma}} \cdot \theta(x), \quad x \in \mathbb{R}. \quad (6)$$

Если  $C_0 > 0$ , то решение  $u(t, x)$  затухает

$$u(t, x) = C_0^{-\frac{1}{\sigma}} \cdot e^{-t} \cdot \theta(x), \quad t \rightarrow \infty. \quad (7)$$

Появление решения (7) связано с наличием в (1) стока тепла, который при малых  $u(t, x) > 0$  является более мощным, чем источник тепла.

Наоборот, если  $C_0 \in \left(-\frac{1}{\sigma}, 0\right)$ , то возникает режим с обострением

$$u(t, x) \rightarrow \infty, \quad t \rightarrow T_0 = -\frac{1}{\sigma} \ln(-\sigma C_0) > 0 \quad (8)$$

всюду в области локализации  $|x| < \text{mes sup } \frac{L_s}{2}$ .

Температурные возмущения из этой области локализации не выходят, несмотря на бесконечный

рост температуры внутри области локализации. Как следует из (4), решение  $u(t, x)$  растет по степенному закону

$$u(t, x) \approx (T_0 - t)^{-\frac{1}{\sigma}} \cdot \theta(x). \quad (9)$$

Как видно, стационарное решение (6) является неустойчивым: малые отрицательные возмущения приводят к другому устойчивому стационарному решению, положительные возмущения дают рост решения в режиме с обострением.

Отметим, что пространственные закономерности протекания тепловых процессов в данной нелинейной среде определяются через одну и ту же функцию  $\theta(x)$ ; от типа процесса зависит лишь закон изменения амплитуды температуры. В этой среде существует и единый для этих процессов характерный пространственный масштаб — фундаментальная длина  $L_s$ , характеризующая размер области локализации тепла.

Таким образом, предложен вариант теоретического решения проблемы локализации тепла в ограниченном пространстве и, поскольку носителями тепла могут быть только материальные неравновесные диссипативные структуры, то, следовательно, благодаря указанным обстоятельствам обнаружена теоретическая возможность конденсации Материи в ограниченном фундаментальной длиной  $L_s$  пространстве.

Если в [3] была только высказана идея о создании математической модели детерминированного хаоса при возникновении и дальнейшем развитии Вселенной, то в данной статье гипотеза детерминированного хаоса в математической модели возникновения и развития Вселенной в той или иной степени опробована, получено решение и проведен его анализ. И это следует рассматривать как первый шаг в создании адекватной возникновению и развитию Вселенной математической модели с использованием гипотезы детерминированного хаоса. Вполне очевидно, что в дальнейшем математические модели возникновения и развития Вселенной с использованием гипотезы детерминированного хаоса будут модифицироваться и совершенствоваться, всё более точно описывая сотворение и развитие Вселенной.

Тот сценарий возникновения и развития Вселенной, которого придерживается автор этой статьи, позволяет предсказать некоторые особенности в строении небесных тел.

Конденсация Материи происходила двумя различными путями. Первый приводил к образованию вращающихся вокруг своей оси высокотемпературных плазменно-газовых сред, из которых впоследствии сформировались звезды. Второй путь приводил к образованию вращающихся вокруг своей оси высокотемпературных огненно-жидких сред, из которых впоследствии сформировались планеты. Отличающиеся весьма значительно друг от друга начальные условия по температуре, массе, объему, плотности приводили к различным результатам при образовании звезд и планет. В одном случае возникали звезды, в другом — возникали планеты и их спутники.

В поле тяготения вращающиеся вокруг своей оси плазменно-газовая среда и высокотемпературная огненно-жидкая среда обязаны принимать форму эллипсоида вращения, сплюснутого относительно полюсов, через которые проходит ось вращения. Астрономические наблюдения подтверждают тот факт, что небесные тела (звезды, планеты, спутники планет) имеют форму сжатого эллипсоида вращения. Следовательно, действительно, в их эволюции имела место плазменно-газовая среда для звезд и высоко-

температурная огненно-жидкая среда для планет и их спутников.

В дальнейшем рассуждения автора касаются только планет и их спутников. После того как возник высокотемпературный огненно-жидкий сжатый эллипсоид вращения, имело место снижение температуры окружающей среды как постоянной тенденции при расширении Вселенной, что привело со временем к образованию твердой коры на поверхности эллипсоида. Эта твердая кора служила хорошим теплоизолятором между высокотемпературной огненно-жидкой средой планеты и низкотемпературным окружающим (межпланетным, межзвездным) пространством, не давая остывать высокотемпературной огненно-жидкой среде планеты. Геологическое строение планеты Земля в целом соответствует такому сценарию развития планет.

Отсюда следует вывод, что любое небесное тело, имеющее форму сжатого эллипсоида вращения, прошло высокотемпературную огненно-жидкую фазу в своем развитии и, следовательно, должно иметь внутреннее строение, сходное с тем, какое имеется у планеты Земля. Автор настаивает на том, что все планеты любых звездных систем, в том числе и планеты и их спутники Солнечной системы, имеющие форму сжатого эллипсоида вращения, внутри себя содержат высокотемпературную огненно-жидкую среду, которая не может остыть благодаря наличию теплоизоляции в виде твердой коры. Здесь не рассматриваются небесные тела неправильной формы и сравнительно небольших размеров (астероиды, кометы, метеориты и т.д.), для которых предложенный сценарий развития планет не имеет места.

Экспериментальное подтверждение высказанной гипотезы можно получить, исследуя внутреннее строение Луны — ближайшего небесного тела и спутника планеты Земля и обнаружить при этом высокотемпературную огненно-жидкую среду внутри Луны. Но косвенное доказательство истинности этой гипотезы нетрудно изложить. Хорошо известно, что период обращения Луны вокруг своей оси и период обращения Луны вокруг Земли совпадают совершенно точно. Это произошло потому, что Земля как планета полностью затормозила собственное вращение Луны как своего спутника. Каков же механизм такого торможения?

Механизм торможения вращения Луны вокруг своей оси связан с отливами и приливами в высокотемпературной огненно-жидкой среде внутри Луны благодаря гравитационному влиянию планеты Земля и другого механизма в данном случае попросту нет.

Со своей стороны, Луна, воздействуя своим гравитационным полем на высокотемпературную огненно-жидкую среду внутри планеты Земля, вызывает приливы и отливы в этой среде, которые также тормозят вращение планеты Земля вокруг своей оси и удлиняют земные сутки. Приливы и отливы Мирового океана также участвуют в этом процессе, но их вклад в торможение вращения планеты Земля вокруг своей оси менее значительный.

Имеется и второе косвенное доказательство истинности высказанной гипотезы. Лунный ландшафт покрыт кратерами различных геометрических размеров и глубин. Общепринятое объяснение появления кратеров на поверхности Луны — это бомбардировка поверхности Луны метеоритами различных геометрических размеров и движущихся с различными скоростями. Этими двумя факторами и объясняются различия в структурах лунных кратеров. Но такое объяснение не выдерживает критики, и вот почему.

Подавляющее большинство лунных кратеров своей строго правильной геометрической конфигурацией указывает на то, что метеориты бомбардировали лунную поверхность строго перпендикулярно, то есть, по нормали к поверхности Луны. Но метеориты двигались, естественно, по произвольным траекториям и кратеры от их падения в таком случае в принципе не имели бы правильной геометрической формы, были бы видны, например, борозды на лунной поверхности, которые бы обязательно появились при контакте метеоритов с лунной поверхностью. В качестве примера можно указать на то, что тунгусский метеорит двигался по касательной к Земле траектории и следы от его падения подтверждают это обстоятельство.

Итак, это заблуждение, что кратеры на лунной поверхности возникли в результате метеоритной бомбардировки. Автор не исключает возможности появления некоторых, но только некоторых как исключение кратеров в результате бомбардировки метеоритами лунной поверхности.

Как же тогда объяснить появление кратеров и то, что подавляющее большинство лунных кратеров имеет правильную геометрическую форму? А вот как. Огненно-жидкая среда эллипсоида вращения, что стал впоследствии Луной, бурлила, кипела, перемещалась, в ней возникали конвекционные потоки вследствие температурных градиентов между центральной областью и поверхностью, и все эти процессы сопровождалась дегазацией. Когда стала образовываться лунная кора вследствие возникшего градиента температур между космическим пространством и огненно-жидкой средой эллипсоида вращения, газовые пузыри ещё прорывались через слабую кору Луны. Но с течением времени кора увеличивалась по толщине и газовые пузыри уже с трудом прорывались на поверхность Луны. И вот настал момент, когда последние газовые пузыри прорвались через кору Луны. Ясно, что газовые пузыри двигались из недр Луны по радиальным направлениям строго перпендикулярно поверхности Луны. Достигнув поверхности Луны, газовые пузыри лопались, и следствия этих событий сейчас представляются нам как кратеры на лунной поверхности, а это, в свою очередь, говорит о том, что Луна имела огненно-жидкую фазу в своём развитии.

Сравнительно недавно на Луне были обнаружены гигантские «кольцевые» структуры. Оказалось, что многие кратеры примерно одного возраста расположены на поверхности не хаотично, а в определенном порядке. И при этом хорошо вписываются в окружности с общим центром. Ими покрыта практически вся лунная поверхность. Причем в некоторых случаях удалось насчитать до десяти «вложенных» друг в друга огромных колец. Одна только «кольцевая» структура Моря Дождей занимает почти всю видимую сторону Луны.

Как же могли возникнуть эти гигантские структуры? Это возможно только при условии, что кора Луны не всегда оставалась холодной и застывшей. В глубокой древности она разогревалась, возможно, даже плавилась. В это время происходили и извержения вулканов, возникали разломы, опускались целые участки коры.

Тогда-то и появлялись самые большие внешние «кольца». Но потом катаклизмы в недрах Луны становились тише, локальнее. И после них образовались внутренние кольца. Наконец, иногда наружу прорывались отдельные потоки магмы и газов, создавая целые цепочки вулканических кратеров. Эти про-



цессы шли сотни миллионов лет по всей Луне, где нет атмосферы и воды. Поэтому «сооружения» на ее поверхности со временем почти не разрушались. Как видно, изложенные фактические соображения не противоречат высказанной автором гипотезе, более того, эти соображения наилучшим образом ее подтверждают.

В пользу гипотезы автора об единообразии внутренней структуры и общности происхождения планет Солнечной системы говорят и другие данные: «кольцевые» структуры обнаружены и на Марсе, и на спутниках Юпитера, и на Земле. Полезные ископаемые в недрах планет формировались из однородных огненно-жидких сред, и, значит, можно провести аналогию между земными и лунными кольцами. А может быть, даже связать их расположение с кладовыми полезных ископаемых или с зонами сейсмической активности.

Предлагаемая автором гипотеза образования планет и их спутников противоречит существующим представлениям о происхождении планеты Земля. Их обобщение и краткое изложение сводится к следующему.

Планета Земля возникла в результате объединения небольших концентраций газово-пылевой среды, так называемых планетезималей, довольно крепко удерживаемых превышающей их по размерам массой. Образовавшаяся при этом прото-Земля по-видимому уже существовала 4,7 — 4,8 млрд лет назад. Планета Земля, только что начавшая свое существование, была «холодным» несортированным конгломератом, состоящим преимущественно из силикатов, окислов железа и магния и примеси других химических элементов, причем понятие «холодный», разумеется, не следует понимать буквально.

Такое положение продолжалось, однако, недолго. Планета, увеличивающаяся благодаря непрерывному планетезимальному приросту, очень скоро стала разогреваться; этому способствовало взаимодействие трех факторов. Во-первых, каждая упавшая планетезиаль обладала значительной кинетической энергией, которая при ударе преобразовывалась в тепловую. Хотя теплота и излучалась в мировое пространство, планета все же сохраняла некоторую ее часть. Во-вторых, в связи с ростом молодой планеты внутренние ее области подвергались все более сильному сжатию, а проявляющаяся при этом гравитационная энергия переходила в тепловую. И наконец, в качестве третьего источника тепла, который вначале мог иметь очень небольшое значение, но в отличие от вышеназванных продолжал действовать независимо от внешних процессов, следует назвать распад радиоактивных элементов, в особенности таких, как уран и торий. Эти элементы, самопроизвольно распадаясь, испускают ядра гелия и электроны. В тех местах, где последние поглощаются окружающим веществом, энергия их движения также преобразуется в теплоту.

По-видимому, вследствие этого спустя несколько сотен миллионов лет температура в недрах протопланеты на глубине около 400 км достигла точки плавления железа и начался процесс, имевший далеко идущие последствия. Капельки расплавленного железа начали перемещаться к центру планеты и вытеснять более легкий материал: формировалось железное ядро Земли — процесс, связанный одновременно с дальнейшим освобождением гравитационной энергии и, соответственно, с дополнительным выделением тепла. Следствием этого явилось полное расплавление прежде всего самых центральных частей Земли. В этот процесс при дальнейшем разогревании все в большей

степени вовлекались и внешние части протопланеты, пока не произошло почти полное ее расплавление, что привело к дальнейшему обособлению вещества. Температурные различия между границей ядра и поверхностью Земли обусловили возникновение эффекта, который не только способствовал разделению вещества, но явился действенным фактором глобально-тектонических явлений: возникли конвекционные потоки. Более легкие элементы, такие как кислород, кремний и алюминий с ничтожной примесью других элементов, выносились наружу, входили в состав силикатных соединений и накапливались на поверхности расплавленной планеты, подобно шлаковому слою. Между внешней корой и железным ядром сосредоточились более плотные силикаты, в особенности силикаты магния и отчасти железа, формировавшие мантию Земли.

Изложенный материал о происхождении планеты Земля и его последующий анализ показывают, что существующие представления о происхождении планеты Земля содержат ряд недостатков. Перед нами умозрительные и бездоказательные построения, в которых имеются логические противоречия и неувязки с общепринятой моделью возникновения Вселенной.

Выделение тепла в результате бомбардировки планетезиальными имеет место только на поверхности планеты и, следовательно, это тепло будет непременно отдано в окружающее пространство. Тепло, выделяющееся в результате радиоактивного распада, ничтожно мало, если брать в расчет весь объем планеты. Благодаря гравитационному сжатию происходит выделение тепла в центральной области планеты, но его не достаточно, чтобы расплавить всю планету. Если предположить, что все планеты приобрели форму сжатого эллипсоида путем расплавления своих недр в соответствии с существующим представлением о происхождении планеты Земля, то такой сценарий не выдерживает критики ни с точки зрения современной космогонии и космологии, ни с точки зрения математической статистики.

Сценарий локализации тепла, появившегося при возникновении Вселенной, с последующей конденсацией Материи и появления вследствие этого планет имеет общий характер и предпочтительнее сценария расплавления некоторым неясным способом «холодного» несортированного конгломерата веществ с последующим появлением планет.

Итак, автор утверждает, что у всех планет и их спутников Солнечной системы и у планет любых других звездных систем есть высокотемпературная огненно-жидкая среда (магма), поскольку они представляют собой сжатые эллипсоиды вращения и, следовательно, все эти небесные объекты имели высокотемпературную огненно-жидкую среду на определенном этапе своего развития. Высокотемпературная огненно-жидкая среда небесных объектов при наличии теплоизолирующей твердой коры в той или иной степени обязана сохраниться до настоящего времени и в будущем времени.

Судить о том, выполнена ли поставленная в статье цель, а именно — случай осветить идею, хаос осветить законом или, другими словами, первозданную хаотичность осветить теорией — предоставим читателю. При этом необходимо помнить, что от того дня, когда научная истина найдена и представлена на обсуждение, до того дня, когда научная истина побеждает, проходит не один год.

В заключение укажем на общий принцип, господствующий во Вселенной, который проистекает из приведенных рассуждений. А именно, если есть



система, которая может порождать другую систему, то обязательно порождающая система творит порождаемую систему по своему образу и подобию — своего рода генетический принцип, следствием которого является фрактальность.

#### Библиографический список

1. Фёдоров, В.К. Проблемы современного естествознания: хаотические диффузионные процессы и формирование неравновесных диссипативных структур / В.К. Фёдоров // Омский научный вестник. — 2006. — № 8 (44). — С. 55–59.
2. Ахромеева, Т.С. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов. — М.: Наука. — 1992. — 482 с.

3. Фёдоров, В.К. Новый взгляд на теоретические и прикладные аспекты квантовой физики: дискретность времени и пространства, атом водорода, вакуум и аннигиляция / В.К. Фёдоров // Омский научный вестник. — 2008. — № 1 (64). — С. 15–20.

**ФЁДОРОВ Владимир Кузьмич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

Адрес для переписки: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11.

Статья поступила в редакцию 10.06.2009 г.

© В. К. Фёдоров

## Информация

### Конкурс на соискание золотой медали и премии Алферовского фонда за лучшую научно-исследовательскую работу в области естественных наук для молодых ученых

Фонд поддержки образования и науки (Алферовский фонд) объявляет конкурс на соискание золотой медали и премии Алферовского фонда за лучшую исследовательскую работу в области естественных наук для молодых ученых (до 33 лет) за 2010 год в номинации «Нанoeлектроника».

Номинация включает в себя специальности фундаментальных и прикладных исследований, связанных с разработкой, получением и использованием наноматериалов.

Право выдвижения кандидатов из Российской Федерации на соискание премии предоставляется:

- президенту фонда;
- действительным членам (академикам), членам-корреспондентам и иностранным членам Российской академии наук;
- заведующим кафедрами высших учебных заведений, выбранных правлением фонда, специальность которых соответствует объявленной номинации;
- заведующим отделами, лабораториями и секторами научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, выбранных правлением фонда, специальность которых соответствует объявленной номинации;
- лауреатам премии предшествующих годов, специальность которых соответствует объявленной номинации;
- другим ученым, которые получили от президента фонда особое приглашение.

Документы на конкурс высылаются не позднее 31 августа 2010 года на имя правления Алферовского фонда с пометкой «На конкурс-2010» по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5.

Автор (авторы) работы, удостоенные премии Алферовского фонда, получают золотую медаль и премию в размере 150 000 рублей.

Источник информации: [www.rsci.ru](http://www.rsci.ru)