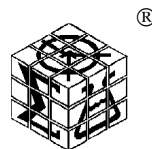


Московский государственный
технический университет
им. Н.Э. Баумана

Российское молодежное
политехническое
общество

**Юбилейный
Всероссийский
форум
научной
молодежи
«ШАГ В БУДУЩЕЕ®»**

Москва,
21-25 марта
2016 г.



**Доклады
пленарных
заседаний**

Доклады пленарных заседаний

Юбилейный Всероссийский форум научной молодежи
«Шаг в будущее»

Издание научно-технической ассоциации
«Актуальные проблемы фундаментальных наук»
Лицензия №006331, сер. ИД №059, 23 сентября 2001 г.
Серия «Профессионал»

УДК 001
ББК 72

М 75

УДК 001

Доклады пленарных заседаний. Юбилейный Всероссийский форум
научной молодежи «Шаг в будущее».
М.: РОО «НТА «АПФН», 2016. Серия «Профессионал». 96 с.

ISBN 978-5-900025-84-1
© РОО НТА АПФН, 2016

Содержание

Симпозиум 1. Инженерные науки в техносфере настоящего и будущего	4 Архитектура параллельных вычислительных систем <i>Карпенко А.П.</i>
	15 Изопроцессы для реальных веществ просто о сложном <i>Белова О.В.</i>
Симпозиум 2. Естественные науки и современный мир	22 Особенности накопления техногенных радионуклидов в корневых системах растений различных экосистем в зоне радиоактивного загрязнения <i>Цветнова О.Б., Щеглов А.И.</i>
	28 О некоторых современных тенденциях в оценке земель <i>Богатырев Л.Г., Маслов М.Н.</i>
	34 Мультиферроики – вещества-химеры <i>Пятаков А.П.</i>
Симпозиум 3. Математика и информационные технологии	43 О некоторых проблемах передачи цифровой информации в оптоволоконных линиях связи <i>Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А.</i>
	45 От дифракционной решетки к голографическому телевидению <i>Гущо Ю.П., Кузнецов В.В.</i>
	55 «МАРС-500» - ШАГ В БУДУЩЕЕ <i>Ивченко В.Д., Кузнецов А.Б., Арбузов В.Н.</i>
	64 Клеточные автоматы и модели <i>Пулькин И.С.</i>
	72 Функциональный метод решения некоторых задач повышенной сложности <i>Татаринцев А.В.</i>
Симпозиум 4. Социально- гуманитарные науки в современном обществе	77 Пользователь в современной сети: новые возможности и новая ответственность <i>Мороз О.В.</i>
	80 Сценарий как инструмент дизайн-проектирования <i>Полейко К.В.</i>
	89 Современные российские СМИ и научная информация: в поиске диалога <i>Аникина М.Е.</i>

Симпозиум 1.

Инженерные науки в техносфере настоящего и будущего

АРХИТЕКТУРА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

КАРПЕНКО Анатолий Павлович

д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. «Системы автоматизированного проектирования»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Имеется два основных пути повышения быстродействия электронных вычислительных машин (ЭВМ):

- совершенствование элементной базы;
- введение параллелизма в вычислительный процесс.

На первом пути в настоящее время достигнуты времена задержки сигнала на один вентиль порядка десятых долей наносекунды – величин, соизмеримых с задержкой распространения сигналов в межэлементных соединениях. Другими словами, на первом пути современная технология производства сверхбольших интегральных схем (СБИС), из которых строят процессоры ЭВМ, подходит к физическому пределу. Второй путь является в настоящее время основным путем повышения быстродействия ЭВМ.

В современном обществе сверхвысокопроизводительные вычислительные системы необходимы, прежде всего, для решения следующих классов задач.

- Задачи «большого вызова» (*Grand Challenge*), к которым относятся задачи глобального моделирования климата, предсказания погоды, мониторинга состояния воздушного и водного бассейнов Земли, моделирования экологических проблем, моделирование ядерных и прочих взрывов и т.п. Экспериментальное исследование подобных проблем либо не возможно, либо слишком дорого.

- Решение задач реального времени. В качестве примеров таких задач можно привести задачу обработки изображений в системе управления качеством стального прокатного листа во время его прокатки, задачу управление движением самолетов в воздушной зоне аэропорта.

- Проектирование высоконадежных систем, например, бортовых авиационных систем, систем управления ядерными реакторами, биллинговых систем, банковских систем, систем, которые поддерживают электронную коммерцию.

- Информационное обслуживание распределенных баз данных.

В крупных системах автоматизированного проектирования (САПР) для выполнения трудоемких процедур также включают параллельные высокопроизводительные ЭВМ. Примеры таких процедур:

- анализ прочности деталей и сооружений методом конечных разностей и методом конечных элементов, когда для достижения требуемой точности необходимы сетки с сотнями тысяч узлов, что требует решения система алгебраических уравнений такой же размерности;

- обработка трехмерных изображений при интерактивном проектировании деталей и узлов;
- синтез тестов при проектировании больших и сверхбольших интегральных схем;
- моделирования сверхзвукового обтекания летательных аппаратов сложной формы.

Все многообразие производимых в мире компьютеров можно (очень условно) разделить на три следующих класса.

- 1) Персональные компьютеры (*Personal Computer, PC*).
- 2) Рабочие станции (*Work Station, WS*).
- 3) Суперкомпьютеры (*Supercomputer, SC*).

Суперкомпьютеры обладают очень высокой производительностью, имеют самую современную элементную базу, часто используют специфические архитектурные решения, направленные на повышение быстродействия, высокую цену. В классе суперкомпьютеров выделяют кластерные системы, когда вычислительная система требуемой производительности собирается из полно- или не полно-функциональных компьютеров, объединенных с помощью некоторого коммуникационного оборудования.

Параллельная обработка не является в настоящее время атрибутом суперкомпьютеров, но используется, по сути, во всем диапазоне производимых вычислительных систем.

Передовые страны мира уделяют развитию параллельных вычислительных технологий приоритетное внимание, считая это важнейшей государственной проблемой. Каждые полтора года происходит утраивание производительности суперкомпьютеров.

В России развитию параллельных вычислений также придается большое значение. Работы над отечественными параллельными высокопроизводительными ЭВМ ведутся в нескольких организациях. Под управлением академика В.А. Мельникова была разработана векторная суперЭВМ "Электроника СС-100" с архитектурой, напоминающей Cray-1. В ИТМиВТ РАН проводятся работы по созданию суперкомпьютера "Эльбрус-3", а также Модульного Конвейерного Процессора (МКП). Другим центром работ над отечественными суперкомпьютерами является НИЦЭВТ. Там ведутся работы над новым суперкомпьютером "АМУР". Ряд организаций во главе с ИПМ РАН ведут работы над системой МВС-1000. Во многих организациях, включая МГТУ им.Н.Э. Баумана, функционируют и развиваются высокопроизводительные параллельные вычислительные системы.

Развитие многопроцессорных систем поставило перед IT-сообществом ряд проблем, основными из которых являются следующие.

1) Сложность адаптации последовательных алгоритмов к параллельным вычислительным системам. Дело в том, что большая часть хорошо зарекомендовавших себя последовательных алгоритмов не имеет эффективных параллельных аналогов. В этой связи очень большие научные силы на протяжении длительного времени концентрируются на синтезе параллельных алгоритмов.

2) Проблема обеспечения равномерной загрузки процессоров в ходе решения задачи (проблема балансировки загрузки процессоров многопроцессорной системы). Не смотря на значительные усилия в этом направлении, средний коэффициент загрузки большинства высоко параллельных систем составляет около 10%.

3) Проблема высокой сложности разработки и отладки параллельных программ. Для решения этой проблемы имеется большое число инструментальных средств (коммуникационные библиотеки, отладчики, трассировщики, профилировщики и пр.). Однако и при наличии этих средств, разработка и отладка параллельных программ остается сложной и дорогостоящей.

4) Проблем хранения, обработки и визуализации больших объемов данных, которые неизбежно являются результатами решения сложных задач.

Можно сказать, что сверхвысокопроизводительные вычислительные системы представляют собой некоторый вызов научному сообществу: вызов его способностям эффективно использовать предоставляемые этими системами гигантские возможности.

1. Классификация ЭВМ

Нестрого говоря, под архитектурой вычислительной системы понимаются абстрактное представление ЭВМ с точки зрения низкоуровневого программиста. Полное описание архитектуры системы включает в себя:

- основные форматы представления данных;
- способы адресации данных в программе;
- состав (структура) аппаратных средств ЭВМ, характеристики этих средств, принципы организации вычислительного процесса.

Ограничиваемся рассмотрением только последнего аспекта архитектуры вычислительной системы. Структуру вычислительной системы можно определить как совокупность аппаратных средств с указанием основных связей между ними.

Имеется значительное число различных классификаций вычислительных систем. Рассмотрим наиболее часто используемые.

Классификация Флина

Наибольшее распространение получила классификация вычислительных систем, предложенная в 1966 г. профессором Стенфордского университета М.Д. Флином (*M.J.Flynn*). Эта классификация охватывает только два классификационных признака – тип потока команд и тип потока данных (рисунки 1, 2).



Рисунок 1 - Классификации Флина по типу потока команд

В одиночном потоке команд в один момент времени может выполняться только одна команда. В этом случае эта единственная команда определяет в данный момент времени работу всех или, по крайней мере, многих устройств вычислительной системы.

Во множественном потоке команд в один момент времени может выполняться много команд. В этом случае каждая из таких команд определяет в данный момент времени работу только одного или лишь нескольких (но не всех) устройств вычислительной системы.

В одиночном потоке последовательно выполняются отдельные команды, во множественном потоке – группы команд.



Рисунок 2- Классификации Флина по типу потока данных

Одиночный поток данных обязательно предполагает наличие в вычислительной системе только одного устройства оперативной памяти и одного процессора. Однако при этом процессор может быть как угодно сложным, так что процесс обработки каждой единицы информации в потоке может требовать выполнения многих команд.

Множественный поток данных состоит из многих зависимых или независимых одиночных потоков данных.

В соответствии со сказанным, все вычислительные системы подразделяют на четыре типа:

- *SISD* (ОКОД);
- *MISD* (МКОД);
- *SIMD* (ОКМД);
- *MIMD* (МКМД).

SISD-система представляет собой классическую однопроцессорную ЭВМ фон неймановской архитектуры.

На *MISD*-систему существуют различные точки зрения. По одной из них – за всю историю развития вычислительной техники такие системы не были созданы. По другой точке зрения (менее распростра-

ненной) к *MISD*-системам относят векторно-конвейерные вычислительные системы. Мы будем придерживаться первой точки зрения.

SIMD-система содержит много процессоров, которые синхронно (как правило) выполняют одну и ту же команду над разными данными. *SIMD*-системы делятся на два больших класса:

- векторно-конвейерные вычислительные системы, *VPP*-системы (*VectorParallelProcessing*);
- векторно-параллельные вычислительные системы или матричные вычислительные системы.

MIMD-система содержит много процессоров, которые (как правило, асинхронно) выполняют разные команды над разными данными. Подавляющее большинство современных суперЭВМ имеют архитектуру *MIMD* (по крайней мере, на верхнем уровне иерархии). *MIMD*-системы часто называют многопроцессорными системами.

Рассмотренная классификация Флина позволяет по принадлежности компьютера к классу *SIMD* или *MIMD* сделать сразу понятным базовый принцип его работы. Часто этого бывает достаточно. Недостатком классификации Флина является «переполненность» класс *MIMD*.

Классификация по типу строения оперативной памяти

По типу строения оперативной памяти вычислительные системы разделяются на системы с общей (разделяемой) памятью, системы с распределенной памятью и системы с физически распределенной, а логически общедоступной памятью (гибридные системы).

В системах с общей (разделяемой) памятью (*Common Memory Systems*) значение, записанное в память одним из процессоров, напрямую доступно для другого процессора. К общей памяти доступ разных процессоров системы осуществляется, как правило, за одинаковое время. Поэтому такую память называют еще *UMA*–память (*Unified Memory Access* - память с одинаковым временем доступа). Системы с общей памятью называют также сильносвязанными системами.

В системах с распределенной памятью (*Shred (Distributed) Memory Systems*) каждый процессор имеет свою локальную память с локальным адресным пространством. Для систем с распределенной памятью характерно наличие большого числа быстрых каналов, которые связывают отдельные части этой памяти с отдельными процессорами. Обмен информацией между частями распределенной памяти осуществляется обычно относительно медленно. Системы с распределенной памятью называются также слабосвязанными системами.

Системы с гибридной памятью *NUMA* (*Non-Uniform Memory Access*) имеют память, которая физически распределена по различным частям системы, но логически разделяема (образует единое адресное пространство). Такая память называется еще логически общей (разделяемой) памятью (*Logically Shared Memory*).

Классификация по степени однородности

По степени однородности различают однородные (гомогенные) и неоднородные (гетерогенные) вычислительные системы. При этом обычно имеют в виду тип используемых процессоров. В однородных (гомогенных) вычислительных системах используют одинаковые процессоры, в неоднородных (гетерогенных) вычислительных системах – различные процессоры.

В настоящее время большинство высокопроизводительных систем относятся к классу однородных систем с общей памятью или к классу однородных систем с разделяемой памятью.

Однородные *MIMD*-системы с общей памятью принято называть системами с симметричной многопроцессорной архитектурой *SMP* (*Symmetric Multi Processing*). Все процессоры *SMP*-системы имеют равноправный (симметричный) доступ к общей оперативной памяти (отсюда и слово «симметричный» в их названии).

Однородные *MIMD*-системы с разделяемой памятью называются системами с массивно-параллельной архитектурой *MPP* (*Massive Parallel Processing*). *MPP*-архитектура позволяет резко увеличить степень масштабируемости многопроцессорных систем по сравнению с *SMP*-системами. Обмен данными в *MPP* системах осуществляется по межпроцессорной коммуникационной сети с помощью механизма передачи сообщений (*Message Passing*).

Нечто среднее между *SMP*- и *MPP*-системами представляют собой *NUMA*-системы.

Рассмотренные классификационные признаки параллельных вычислительных систем не исчерпывают всех возможных их характеристик. Существует, например, еще разделение систем по степени согласованности режимов работы (синхронные и асинхронные вычислительные системы), по способу обработки (с пословной обработкой и ассоциативные вычислительные системы), по жесткости структуры (системы с фиксированной структурой и системы с перестраиваемой структурой), по управляющему потоку (системы потока команд - *instructionflow* и системы потока данных - *dataflow*) и т.п.[1].

Современные высокопроизводительные системы имеют, как правило, иерархическую структуру. Например, на верхнем уровне иерархии система является *MIMD*-системой, каждый процессор которой представляет собой *MIMD*- или *SIMD*-систему.

2. Векторно-конвейерные системы

Первый векторно-конвейерный компьютер *Cray-1* появился в 1976 году. Архитектура этого компьютера оказалась настолько удачной, что он положил начало целому семейству компьютеров. Основные принципы, заложенные в архитектуру *PVP*-систем:

- конвейерная организация обработки потока команд;
- введение в систему команд набора векторных операций, которые позволяют оперировать с целыми массивами данных.

Длина обрабатываемых векторов в современных *VPP*-системах составляет, как правило, 128 или 256 элементов. Основное назначение векторных операций состоит в распараллеливании выполнения операторов цикла, в которых обычно сосредоточена большая часть вычислительной работы.

Современные *VPP*-системы имеют иерархическую структуру:

- на нижнем уровне иерархии расположены конвейеры (*pipeline*) операций (например, конвейер сложения вещественных чисел, конвейер умножения таких же чисел и т.п.);
- некоторая совокупность конвейеров объединяется в конвейерное функциональное устройство;
- векторно-конвейерный процессор содержит ряд конвейерных функциональных устройств;
- несколько векторно-конвейерных процессоров (2-16), объединенных общей памятью, образуют вычислительный узел;
- несколько таких узлов объединяются с помощью коммутаторов, образуя либо *NUMA*- либо *MPP* систему.

В конвейере операций при выполнении операции (например, сложения) над данными операндами готовятся к исполнению несколько следующих операндов. Каждая часть конвейера называется ступенью конвейера, а общее число ступеней – длиной конвейера.

Пример. Рассмотрим следующий 4-х ступенчатый конвейер операции сложения вещественных чисел $x = e2^p, y = f2^q$:

Номер ступени	Наименование
1	Вычитание порядков $p - q$
2	Сдвиг одной из мантисс e, f
3	Сложение мантисс
4	Нормализация

Положим, что выполняется сложение двух $(n * 1)$ -векторов вещественных чисел $X = (x_1, x_2, \dots, x_n), Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Диаграмма сложения этих векторов приведена на рисунке 3●.

В *VPP*-системах в рамках одного конвейерного функционального устройства широко используется (то есть аппаратно поддерживается) зацепление конвейеров. Покажем суть этой процедуры на примере.

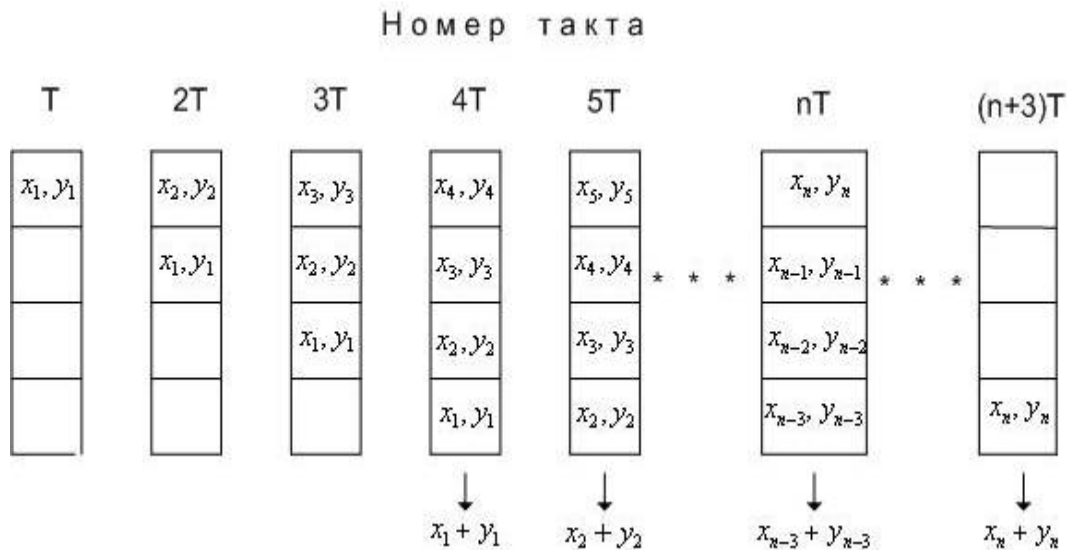


Рисунок 3 -К примеру 1. Временная диаграмма сложения $(n * 1)$ -векторов вещественных чисел X, Y на 4-х ступенчатом конвейере операции сложения

Пример. Положим, что в некоторой прикладной программе, исполняемой на VPP-системе, необходимо вычислить

$$E = \frac{(A + B) * C}{D}, \quad (1)$$

где A, B, C, D, E - $(n * 1)$ -векторы вещественных чисел; под произведением и делением векторов понимается их покомпонентное умножение и деление соответственно. Иными словами, операции, указанные в выражении (1), понимаются в смысле

$$e_i = \frac{(a_i + b_i) * c_i}{d_i}, \quad i \in [1, n]. \quad (2)$$

Положим также, что конвейерное функциональное устройство данной VPP-системы имеет следующие конвейеры операций: конвейер сложения вещественных чисел; конвейер умножения вещественных чисел; конвейер деления вещественных чисел.

Тогда для повышения скорости вычисления компонент вектора E целесообразно использовать зацепление указанных конвейеров (рисунок 4). В результате, можно сказать, получается новый конвейер, который выполняет сложную операцию (1)•.

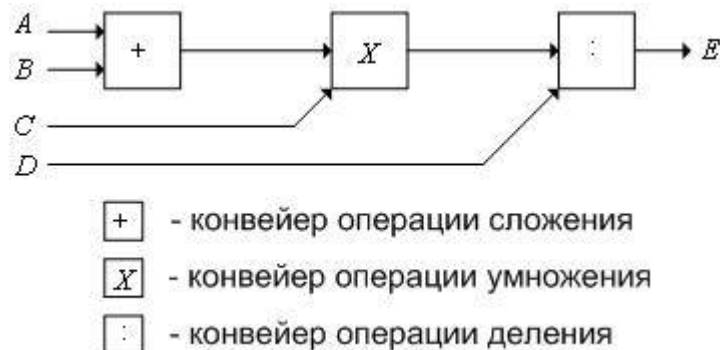


Рисунок 4 -К примеру 2. Зацепление конвейеров

Конвейер операций не следует путать с конвейером команд, в котором при исполнении одной команды готовится к исполнению несколько следующих команд. Так же как в конвейере операций, каждая часть конвейера команд называется ступенью конвейера, а общее число ступеней – длиной кон-

вейера. Конвейеры команд широко используются в современных процессорах. Так процессор *Intel 486* имеет пятиступенчатый конвейер выполнения *целочисленных* команд, ступенями которого являются следующие действия:

- предвыборка (команда извлекается из КЭШ-памяти и размещается в одном из двух 16-байтных буферах);
- декодирование;
- генерация адреса;
- исполнение в АЛУ;
- запись результата в КЭШ-память.

Процессор *Pentium* (суперскалярная архитектура) имеет два восьми ступенчатых конвейера целочисленных команд.

Кроме конвейеров в *VPP*-системах для ускорения работы используют различные механизмы адресации, операции с автоинкрементом (автодекрементом) адреса, механизмы ускоренной выборки и записи (многопортовая память, память с расслоением и т.д.), отдельное адресное обрабатывающее устройство, отдельное скалярное устройство для выполнения скалярных операций и пр.

3. Векторно-параллельные системы

Как и *VPP*-система, векторно-параллельная система обычно имеет иерархическую структуру. На нижнем уровне иерархии находятся векторные процессоры, представляющие собой совокупность скалярных процессоров (процессорных элементов), которые объединены некоторой коммуникационной сетью и в каждом такте синхронно выполняют одну и ту же команду над разными данными. На верхнем уровне иерархии векторные процессоры объединяются общей памятью или коммуникационной сетью, образуя *NUMA* либо *MPP* систему.

Векторные процессоры имеют в своих системах команд специальные векторные (матричные) операции, такие как векторное и матричное сложение, умножение вектора на матрицу, умножение матрицы на константу, вычисление скалярного произведения, свертки и т.д. При выполнении векторных операций различные компоненты векторов и матриц обрабатываются параллельно на различных процессорных элементах.

Основными компонентами векторного процессора являются

- совокупность скалярных процессоров;
- совокупность модулей оперативной памяти;
- коммуникационная среда;
- устройство общего управления.

Выделяют две группы векторных процессоров: векторные процессоры с одинаковым и разным числом скалярных процессоров и модулей памяти.

В векторном процессоре с одинаковым числом скалярных процессоров и модулей памяти каждый скалярный процессор подключается к своему модулю памяти. Команда, выдаваемая устройством управления, обычно содержит одинаковый адрес для всех скалярных процессоров. С помощью специального «флага» можно запретить выполнение команды на данном скалярном процессоре – «маскирование команды».

В векторном процессоре с различным числом скалярных процессоров и модулей памяти основной проблемой является проблема исключения конфликтов при обращении к памяти (поскольку к одному модулю памяти могут одновременно обращаться, в переделе, все скалярные процессоры). Для преодоления этой проблемы в системах данного класса используют изолированные схемы хранения массивов данных.

4. Многопроцессорные системы (MIMD-системы)

Как уже отмечалось, *MIMD*-система содержит много процессоров, которые (как правило, асинхронно) выполняют разные команды над разными данными. Подавляющее большинство современных высокопроизводительных ЭВМ на верхнем уровне иерархии имеют архитектуру *MIMD*.

Для *MIMD*-систем в настоящее время общепризнана классификация, основанная на используемых способах организации оперативной памяти в этих системах. По этой классификации, прежде всего,

различают мультипроцессорные системы (мультипроцессоры) или системы с общей разделяемой памятью (*multiprocessors, shared-memory systems*) и мультикомпьютерные системы (мультикомпьютеры) или системы с распределенной памятью (*multicomputers, distributed memory systems*). Структура мультипроцессорной и мультикомпьютерной систем приведена на рисунке 5, где P_i - процессор, M_i - модуль памяти.

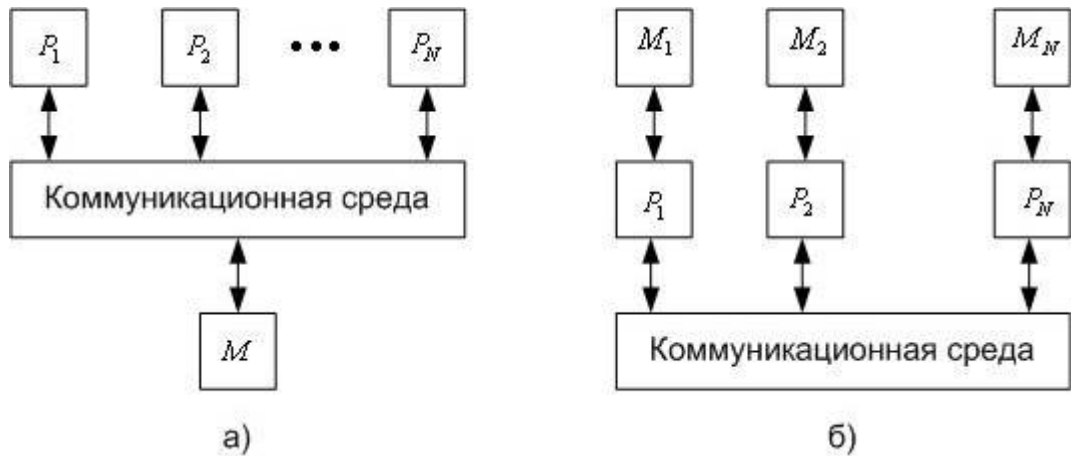


Рисунок 5 - Структура мультипроцессора (а) и мультикомпьютера (б)

В мультипроцессорах адресное пространство всех процессоров является единым. Это значит, что если в программах нескольких процессоров мультипроцессора встречается одна и та же переменная, то для получения или изменения значения этой переменной эти процессоры будут обращаться в одну физическую ячейку общей памяти. Это обстоятельство имеет как положительные, так и отрицательные последствия. Отсутствие необходимости физически перемещать данные между коммутирующими программами исключает затраты времени на межпроцессорный обмен. С другой стороны, поскольку одновременное обращение нескольких процессоров к общим данным может привести к получению неверных результатов, необходимы системы синхронизации параллельных процессов и обеспечения когерентности памяти. Так как процессорам необходимо очень часто обращаться к общей памяти, требования к пропускной способности коммуникационной среды оказываются чрезвычайно высокими. Последнее обстоятельство ограничивает число процессоров в мультипроцессорах несколькими десятками. Остроту проблемы доступа к общей памяти частично удастся снять разделением памяти на блоки, которые позволяют распараллелить обращения к памяти от различных процессоров.

Отметим еще одно преимущество мультипроцессоров: мультипроцессорная система функционирует под единственной копией операционной системы (обычно, UNIX-подобной) и не требует индивидуальной настройки каждого процессорного узла.

Вследствие простоты своей архитектуры наибольшее распространение в настоящее время получили мультикомпьютеры. Мультикомпьютеры не обеспечивают общий доступ ко всей имеющейся в системах памяти (*NO-Remote Memory Access, NORMA*). Поэтому межпроцессорный обмен в таких системах осуществляется через коммуникационную сеть с помощью передачи сообщений.

Каждый процессор в мультикомпьютере имеет независимое адресное пространство. Поэтому наличие переменной с одним и тем же именем в программах разных процессоров, приводит к обращению к физически разным ячейкам собственной памяти этих процессоров. Это обстоятельство требует физического перемещения данных между коммутирующими программами в разных процессорах. Чаще всего основная часть обращений производится каждым процессором к собственной памяти. Поэтому требования к коммутационной среде ослабляются. В результате число процессоров в мультикомпьютерных системах может достигать нескольких тысяч, десятков и даже сотен тысяч.

Пиковая производительность крупнейших систем с общей памятью ниже пиковой производительности крупнейших систем с раздельной памятью. Стоимость систем с общей памятью выше стоимости аналогичных по производительности систем с разделяемой памятью.

SMP-системы

Все процессоры SMP-системы имеют симметричный доступ к памяти, то есть память SMP-системы представляет собой UMA-память. Напомним, что под симметричностью понимается следующее: равные права всех процессоров на доступ к памяти; одна и та же адресация для всех элементов памяти; равное время доступа всех процессоров системы к памяти (без учета взаимных блокировок). Общая структура SMP-системы приведена на рисунке 6. Коммуникационная среда SMP-системы строится на основе какой-либо высокоскоростной системной шины или высокоскоростного коммутатора. Кроме одинаковых процессоров P_i и общей памяти M этой же шине подключаются устройства ввода-вывода.

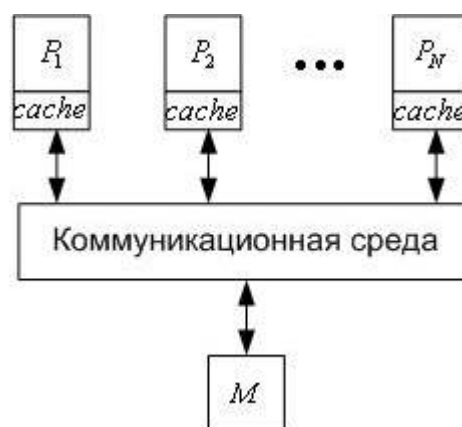


Рисунок 6 - Общая структура SMP-системы

За кажущейся простотой SMP-систем скрываются значительные проблемы, связанные, в основном, с оперативной памятью. Дело в том, что в настоящее время скорость работы оперативной памяти значительно отстает от скорости работы процессора. Для того чтобы сгладить этот разрыв, современные процессоры снабжаются высокоскоростной буферной памятью (кэш-памятью). Скорость доступа к этой памяти в несколько десятков раз превышает скорость доступа к основной памяти процессора. Однако наличие кэш-памяти нарушается принцип равноправного доступа к любой точке памяти, поскольку данные, находящиеся в кэш-памяти одного процессора, недоступны для других процессоров. Поэтому после каждой модификации копии некоторой переменной, находящейся в кэш-памяти какого-либо процессора, необходимо производить синхронную модификацию самой этой переменной, расположенной в основной памяти. В современных SMP-системах когерентность кэш-памяти поддерживается аппаратно или операционной системой.

Наиболее известными SMP-системами являются SMP-серверы и рабочие станции IBM, HP, Compaq, Dell, Fujitsu и др. SMP-система функционирует под управлением единой операционной системы (чаще всего – UNIX и подобной ей).

Из-за ограниченной пропускной способности коммуникационной среды SMP-системы плохо масштабируются. В настоящее время в реальных системах используется не более нескольких десятков процессоров. Известным неприятным свойством SMP систем является то, что их стоимость растет быстрее, чем производительность при увеличении числа процессоров в системе.

MPP-системы

MPP-системы строят из отдельных модулей, содержащих процессор, локальный блок оперативной памяти, коммуникационный процессор или сетевой адаптер, иногда - жесткие диски и/или другие устройства ввода/вывода. По сути, такие модули представляют собой полнофункциональные компьютеры (рисунок 7.). Доступ к блоку оперативной памяти данного модуля имеет только процессор этого же модуля. Модули взаимодействуют между собой через некоторую коммуникационную среду (высокоскоростную сеть, коммутатор и пр.). Используются два варианта работы операционной системы на MPP-системах. В одном варианте полноценная операционная система функционирует только на управляющей ЭВМ, а на каждом отдельном модуле работает сильно урезанный вариант операционной системы,

поддерживающий только базовые функции ядра операционной системы. Во втором варианте на каждом модуле работает полноценная UNIX-подобная операционная система. Заметим, что необходимость наличия (в том или ином виде) на каждом процессоре *MPP*-системы операционной системы, позволяет пользователю использовать только ограниченный объем памяти каждого из процессоров.

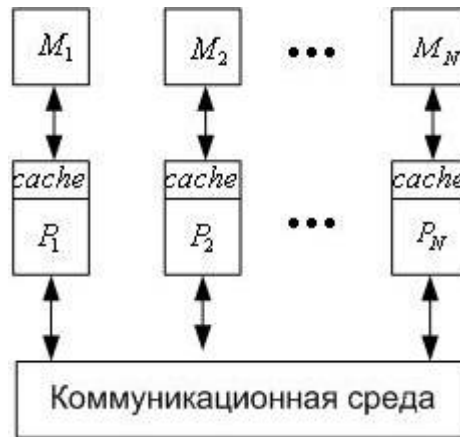


Рисунок 7 -Общая структура *MPP*-системы

По сравнению с *SMP*-системами, архитектура *MPP*-системы устраняет одновременно как проблему конфликтов при обращении к памяти, так и проблему когерентности кэш-памяти. Главным преимуществом *MPP*-систем является хорошая масштабируемость. Практически все рекорды по производительности на сегодняшний день установлены именно на *MPP*-системах, состоящих из нескольких сотен тысяч процессоров.

С другой стороны, отсутствие общей памяти заметно снижает скорость межпроцессорного обмена в *MPP*-системах. Это обстоятельство для *MPP*-систем выводит на первый план проблему эффективности коммуникационной среды. Кроме того, в результате в *MPP*-системах требуется специальная техника программирования для реализации обмена данными между процессорами. Этим объясняется высокая цена программного обеспечения для *MPP*-систем. Этим же объясняется то, что написание эффективных параллельных программ для *MPP*-систем представляет собой более сложную задачу, чем написание таких же программ для *SMP* систем. Для широкого круга задач, для которых известны хорошо зарекомендовавшие себя последовательные алгоритмы, не удастся построить эффективные параллельные алгоритмы для *MPP*-систем.

NUMA-системы.

NUMA-система обычно строится на основе однородных базовых модулей, состоящих из небольшого числа процессоров и блока памяти. Модули объединены с помощью некоторой высокоскоростной коммуникационной среды (рисунок 8). Поддерживается единое адресное пространство, аппаратно поддерживается доступ к удаленной памяти, то есть к памяти других модулей. При этом доступ к локальной памяти осуществляется в несколько раз быстрее, чем к удаленной. По существу, *NUMA*-система представляет собой *MPP*-систему, где в качестве отдельных вычислительных элементов используются *SMP*-модули.

Среди *NUMA*-систем выделяют следующие типы систем:

- системы, в которых в качестве оперативной памяти используется только локальная кэш-память процессоров (*Cache-Only Memory Architecture, COMA*);
- системы, в которых аппаратно обеспечивается когерентность локальной КЭШ-памяти разных процессоров (*Cache-Coherent NUMA, CC-NUMA*);
- системы, в которых аппаратно не поддерживается когерентность локальной КЭШ-памяти разных процессоров (*Non-Cache Coherent NUMA, NCC-NUMA*).

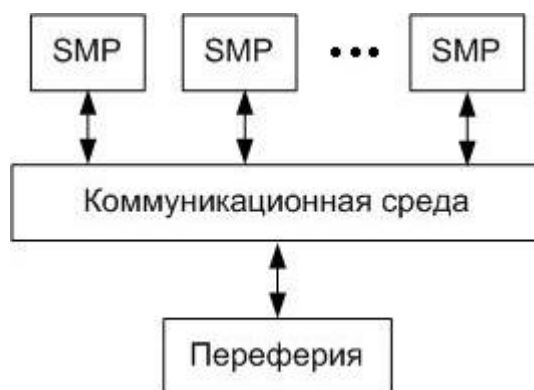


Рисунок 8 - Общая структура NUMA-системы

Логическая общедоступность памяти в *NUMA*-системах, с одной стороны, позволяет работать с единым адресным пространством, а, с другой, позволяет достаточно просто обеспечить высокую масштабируемость системы. Данная технология позволяет в настоящее время создавать системы, содержащие до нескольких сотен процессоров. *NUMA*-системы серийно производятся многими компьютерными фирмами как многопроцессорные серверы и прочно удерживают лидерство в классе малых суперкомпьютеров.

Вычислительные кластеры

С функциональной точки зрения кластерные системы можно разделить на высокоскоростные (*HighPerformance*) кластерные системы (*HP*-кластеры) и кластерные системы высокой готовности (*HighAvailability*) – *HA*-кластеры. *HP*-кластеры используют в тех областях, которые требуют значительной вычислительной мощности, *HA*-кластеры – везде, где стоимость возможного простоя превышает стоимость затрат, необходимых для построения отказоустойчивой системы.

Место *HP*-кластеров среди современных высокопроизводительных систем иллюстрирует следующий пример: в списке 500 самых высокопроизводительных компьютеров мира *Top500* вычислительные кластеры из недорогих узлов занимают примерно половину списка. В России крупнейший заказчик *HP*-кластеров — нефтегазовая отрасль, в которой кластеры все более широко используют для обработки трехмерных сейсмических данных, получаемых в процессе геологоразведки.

Среди многообразия типов современных вычислительных систем высокой готовности, *HA*-кластеры обеспечивают высокий уровень отказоустойчивости при самой низкой стоимости. Вообще говоря, для того чтобы вычислительная система обладала высокими показателями готовности, необходимо, чтобы ее компоненты были максимально надежными, чтобы система была отказоустойчивой, а так же чтобы была возможной «горячая» замена компонентов (без останова системы). Благодаря кластеризации, при отказе одного из компьютеров системы, задачи могут быть автоматически (операционной системой) перераспределены между другими (исправными) узлами вычислительного кластера. Таким образом, отказоустойчивость кластера обеспечивается дублированием всех жизненно важных компонентов вычислительной системы. Самыми популярными коммерческими отказоустойчивыми системами в настоящее время являются двухузловые кластеры.

5. Производительность параллельных вычислительных систем

Важнейшими характеристиками любых вычислительных машин являются их производительность и быстродействие. Часто эти две характеристики отождествляют, но иногда используется и та и другая. Кроме производительности важными характеристиками вычислительных систем являются масштабируемость (*scalability*) – способность вычислительных систем к наращиванию и сокращению ресурсов (прежде всего, производительности и оперативной памяти), реконфигурируемость (*programmability*) – варьирование числа узлов и графа из связей, надежность и живучесть вычислительной системы (*reliability and robustness*).

Под производительностью (*performance*) понимают число операций, выполняемых на данной вычислительной машине в единицу времени. Быстродействие (*speed*) – величина, обратная времени выполнения одной операции.

Производительность измеряется в миллионах команд в секунду *MIPS* (*Millions Instructions Per Second*) или миллионах операций с плавающей запятой в секунду *MFLOPS* (*Millions Floating point Operations Per Second*).

Для измерения производительности параллельной ЭВМ используют следующие величины: асимптотической производительности; длина полупроизводительности (длина обрабатываемых векторов данных, на которых достигается половина асимптотической производительности системы); реальная производительность (производительность на тестах).

Существующие тестовые наборы можно разделить на три группы:

- тесты производителей (компаний-изготовителей компьютеров), предназначенные, как правило, для сравнения однотипных компьютеров, относящихся к одному семейству;
- стандартные тесты, разработанные независимыми аналитиками и предназначенные для сравнения широкого спектра компьютеров;
- пользовательские тесты, учитывающие специфику решаемых пользовательских задач.

В вычислительной практике чаще всего применяют стандартные тесты, например, набор тестов *Linpack*, представляющий собой набор программ для решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) методом исключения Гаусса. Основным параметром тестов *Linpack* является порядок СЛАУ n . Обычно используются тесты с $n=100$ и тесты $n=1000$. Известно число операций (как функция величины n), которые необходимо выполнить для решения СЛАУ методом исключения Гаусса. Поэтому, зная время решения задачи, легко найти производительность системы в *MFLOPS*. Упомянутый выше список TOP 500 строят на основе тестирования с помощью тестов *Linpack*. Для *MPP*-систем чаще всего используют набор тестов *Linpack-parallel*. Для суперкомпьютеров широко используются набор тестов *NASparallelbenchmark*, которые представляют собой набор алгоритмов решения некоторых задач вычислительной газо- и гидродинамики.

Большое количество информации по всем аспектам параллельных вычислений доступно по адресу <http://parallel.ru/>[1].

Литература

1. Информационно-аналитический центр по параллельным вычислениям. URL: <http://parallel.ru> (дата обращения 11.02.2016).

ИЗОПРОЦЕССЫ ДЛЯ РЕАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ-ПРОСТО О СЛОЖНОМ

БЕЛОВА Ольга Владимировна

к.т.н., доцент, кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Когда приходится использовать термодинамику ..., то оказывается, что она очень трудный и сложный предмет.

Нобелевский лауреат Ричард Фейнман¹

Современные подходы к обучению в средней школе требуют от обучающихся все большей творческой включенности в процесс и выполнение большого объема самостоятельной работы. Углубленное изучение раздела термодинамики особенно важно для тех школьников, которые решили продол-

¹ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып.4: Кинетика. Теплота. Звук. Пер. с англ. / Под. ред. Я.А.Сморodinского. Изд. 4-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 264 с.

жить свое обучение в вузе по направлениям подготовки, связанным с энергетическим машиностроением. Уже в школе должно закладываться понимание фундаментальных основ и законов преобразования энергии и вещества.

Как правило, решение задач, в том числе олимпиадных, по теме «Идеальный газ» не вызывает таких трудностей в понимании, как задачи, где происходят фазовые превращения реальных веществ, поскольку здесь необходимо более глубокое понимание законов термодинамики.

Вспомним основные положения, используемые для описания процессов преобразования реальных веществ в термодинамике. На p - T -диаграмме (рис. 1) показаны области существования трех фаз чистого вещества – твердая (Тв), жидкая (Ж) и газообразная: в виде газа (Г) и пара (П). С точки зрения термодинамики различия между газом и паром нет, однако принято газообразную фазу при температуре ниже критической называть паром. Области фаз разделены пограничными кривыми. Переходы между фазами показаны на рис. 1, б. Точка, в которой сходятся три участка пограничных кривых, называется тройной точкой, поскольку для чистого вещества в этой точке все три фазы находятся в равновесии.

p - T -диаграмма для воды (рис. 2, а) показывает, что температура тройной точки равна 273,16 К (+0,01 С) при давлении 611,657 Па (0,006 бар).

Казалось бы такое привычное состояние воды как лед на самом деле имеет при разных условиях формирования совершенно разную структуру. В природных условиях Земли вода образует кристаллы одной кристаллической модификации – лед I_h . Во льду I_h каждая молекула H_2O окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, находящимися на одинаковых расстояниях от неё, равных 2,76 Å и размещённых в вершинах правильного тетраэдра. Форма снежинок при выпадении снега в атмосфере зависит от температуры, давления, влажности, наличия центров кристаллизации в воздухе, их изучает отдельная область науки – гляциология. При высоких же давлениях лед формируется в виде других кристаллических решеток или даже находится в аморфном состоянии. В настоящее время известны три аморфных разновидности и 15 кристаллических модификаций льда (рис. 2, б).

Для лучшего понимания процессов преобразования вещества необходимо ввести понятие энтропии. Энтропия (отдр.-греч. $\acute{\epsilon}\nu\tau\rho\omicron\pi\acute{\iota}\alpha$ — поворот, превращение) – термин, который в термодинамике определяет меру необратимого рассеивания энергии (меру хаоса). Единица измерения удельной (на 1 кг вещества) энтропии – Дж/(кг·К).

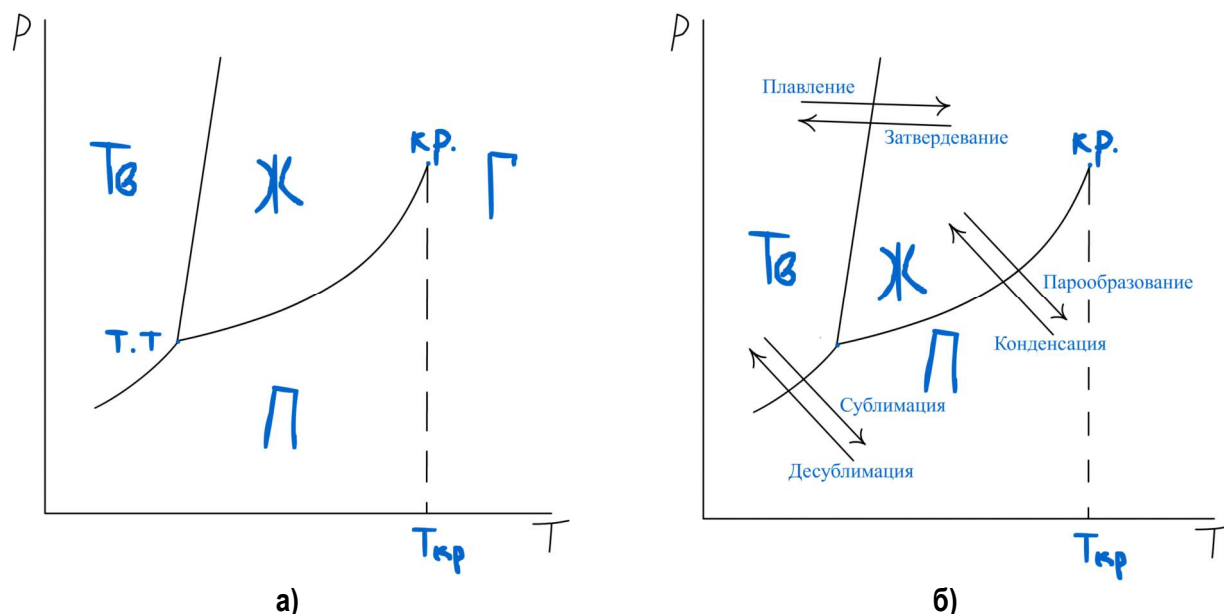


Рис. 1. p - T -диаграмма чистого реального вещества: а) показана тройная точка (т.т.); б) показаны процессы изменения фаз

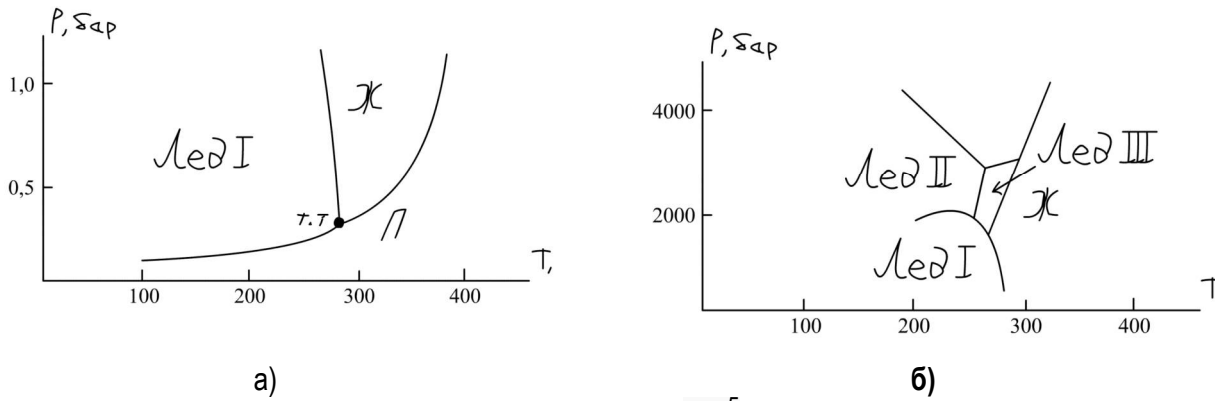


Рис. 2. p-T-диаграмма воды (давление в барах, 1 бар = 10^5 Па): а) при низких давлениях; б) при высоких давлениях

T-s-диаграмма чистого реального вещества представлена на рис. 3. Здесь наглядно видно, что между жидким и газообразным состоянием вещества нет пограничной кривой, следовательно, с точки зрения термодинамики разницы между ними не существует. Также именно на этой диаграмме появляются области равновесного сосуществования двух фаз чистого вещества. Кроме того, тройная точка в координатах T-s превращается в тройную линию.

Вернемся к рассмотрению воды, которая является единственным на Земле веществом, одновременно находящимся в трех состояниях. Тройная точка воды (рис. 4, точка А) соответствует минимальному давлению, при котором жидкая вода может существовать. При давлении ниже тройной точки (например, в открытом космосе) твердый лед сублимируется в пар, минуя жидкое состояние. При параметрах выше тройной точки лед при нагревании вначале переходит в жидкое состояние (А-А₁), и только потом при более высоких температурах, вода кипит и испаряется (А₁-В₁). Тройная точка воды используется как опорная, например, для калибровки измерительной аппаратуры и термометров.

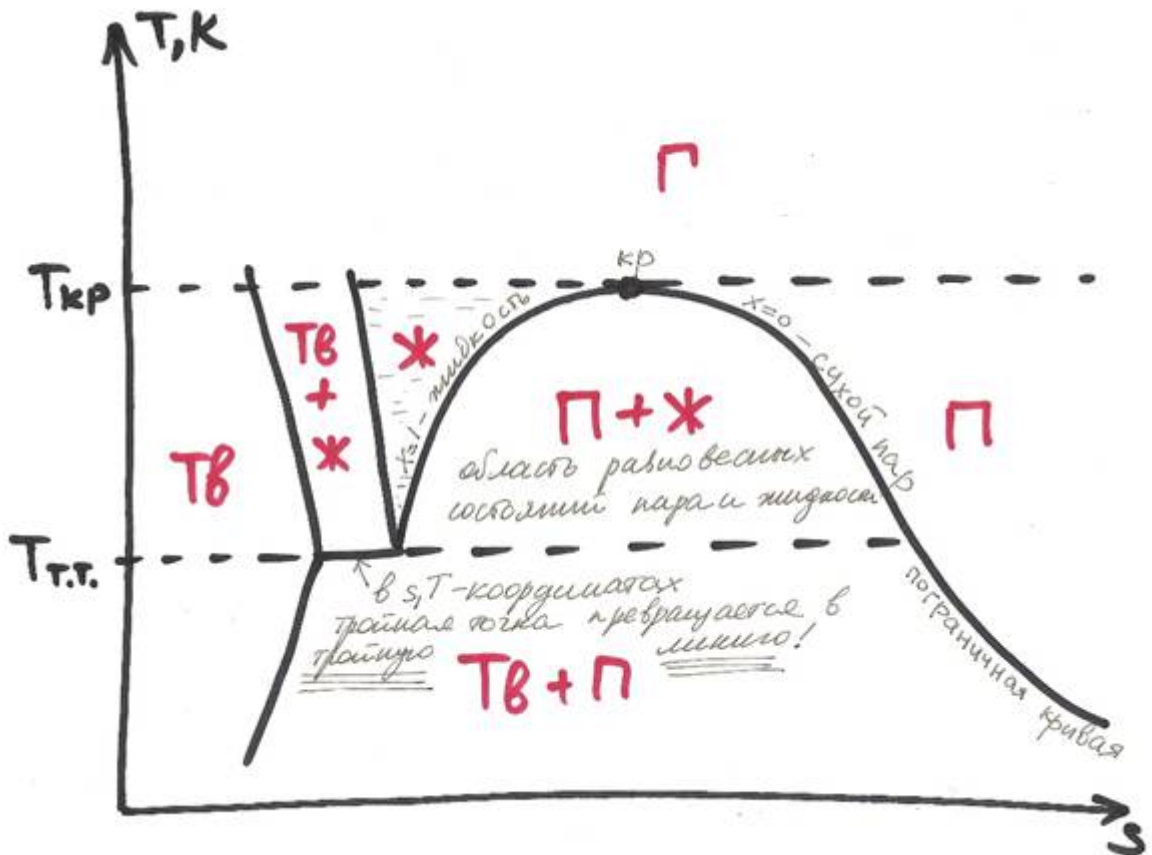


Рис. 3. T-s-диаграмма состояния реального вещества

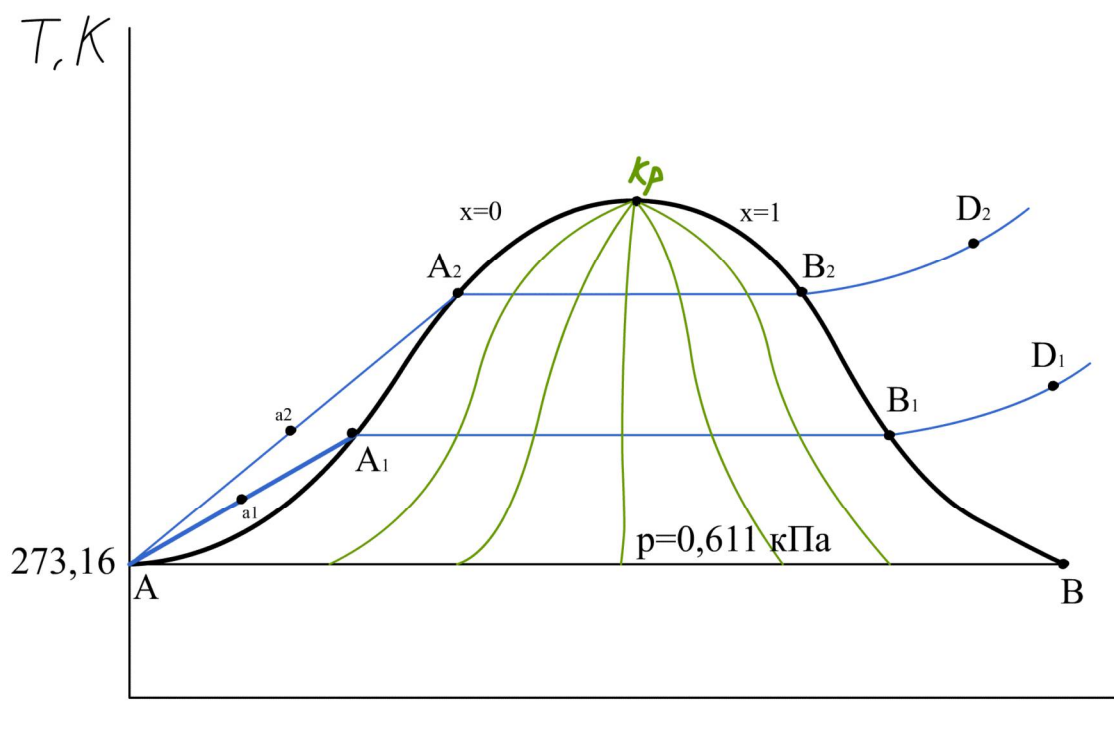


Рис. 4. T–s-диаграмма воды

На рис. 5 представлена s–T диаграмма воды, построенная в ПО COOLPACK² (Технический университет Дании), по которой можно определить различные термодинамические параметры для воды, например, критическую температуру. Здесь наглядно видно, что температуры кипения зависят от давления, при котором оно происходит.

По данной диаграмме можно проследить интересное поведение удельного объема (изохоры v , $\text{м}^3/\text{кг}$) внутри области равновесия пара и жидкости – они веером расходятся из тройной точки, причем чем выше кривая, тем меньше величина удельного объема (и, следовательно, больше плотность смеси).

Из критической точки вниз веером расходятся линии постоянной степени сухости – x . По величине степени сухости можно определить соотношение в смеси количества жидкости и пара для любой точки внутри двухфазной области жидкость-пар. Так, если $x=0,8$, смесь содержит 80% пара и 20% жидкости, находящейся в равновесии с паром, причем это верно для любой температуры кипения.

Пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью, называется *насыщенным*. После полного испарения жидкости пар становится *ненасыщенным*. Чем дальше пар от состояния насыщения, тем точнее он подчиняется уравнению Менделеева – Клапейрона.

Через критическую точку проходит критическая изобара $p_{кр}$, которая определяет границу давлений – выше давления $p_{кр}$ жидкость переходит при нагревании в газообразное состояние минуя двухфазную область. Для воды критическое давление составляет 22,064 МПа (220,64 бар).

С другой стороны, на рис. 5 видно, что процессы отвода и подвода теплоты, которые сопровождаются изменением фазового состава вещества, широко используются в технике (например, в холодильной технике в испарителях и конденсаторах).

Рассмотрим далее как выглядят изопроцессы (изохора, изобара, изотерма и адиабата) в p - v и T - s координатах (рис. 6–8). Для идеального газа эти процессы подробно рассматриваются в школьной программе. Для более глубокого понимания этих процессов для реальных веществ проследим изменение термодинамических параметров при переходе из двухфазного состояния (точка 1 на рис. 6–8) в пар (точка 2).

Изохорный переход 1-2 (рис. 6) проходит с повышением температуры от T_1 до T_2 и повышением давления от p_1 до p_2 . Площадь под кривой процесса в T - s – координатах (заштрихованная площадь)

² <http://www.ipu.dk/Indhold/koele-og-energiteknik/CoolPack.aspx>

определяет количество теплоты, которое подводится в данном процессе, поскольку работа равна нулю.

Изобарный переход 1-2 (рис. 7) проходит также с повышением температуры от T_1 до T_2 . Площадь под кривой процесса в p - v координатах равна работе и определяется как произведение давления на изменение объема. Площадь под процессом определяет удельное количество теплоты.

Изотермический переход 1-2 (рис. 8) проходит с увеличением удельного объема и с понижением давления от p_1 до p_2 . Площадь под кривой процесса в p - v координатах равна работе. Площадь под процессом определяет количество удельное теплоты: $q_{1-2} = T(s_2 - s_1)$. Изотермическое расширение представляет собой пример процесса, когда теплота полностью переходит в работу.

Давайте выясним, почему для изотермического процесса мы не используем понятие теплоемкости. Из определения теплоемкости (отношение теплоты, сообщенной газу, к изменению температуры, которое при этом произошло) следует, что для изотермического процесса, у которого подвод (или отвод) теплоты к системе не приводит к изменению температуры системы, теплоемкость c_T бесконечно велика: $c_T = \pm \infty$.

$T, ^\circ\text{C}$

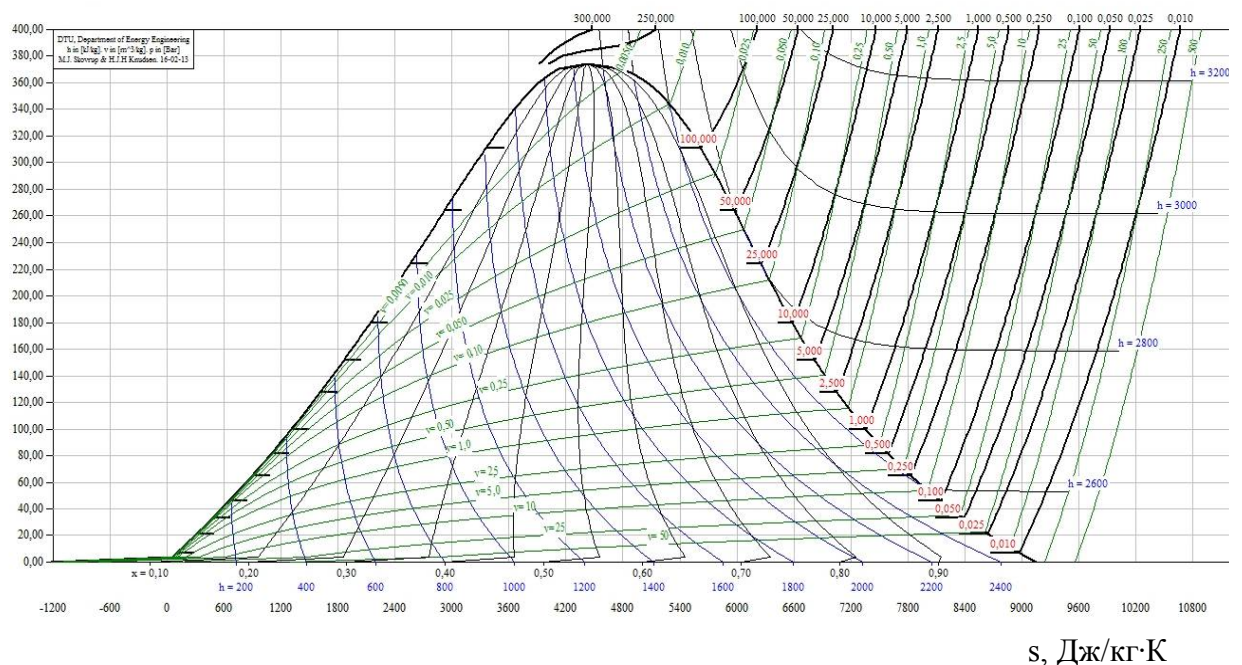


Рис. 5. s - T диаграмма воды: жирным выделены линии постоянного давления (изобары), величина давления - в барах

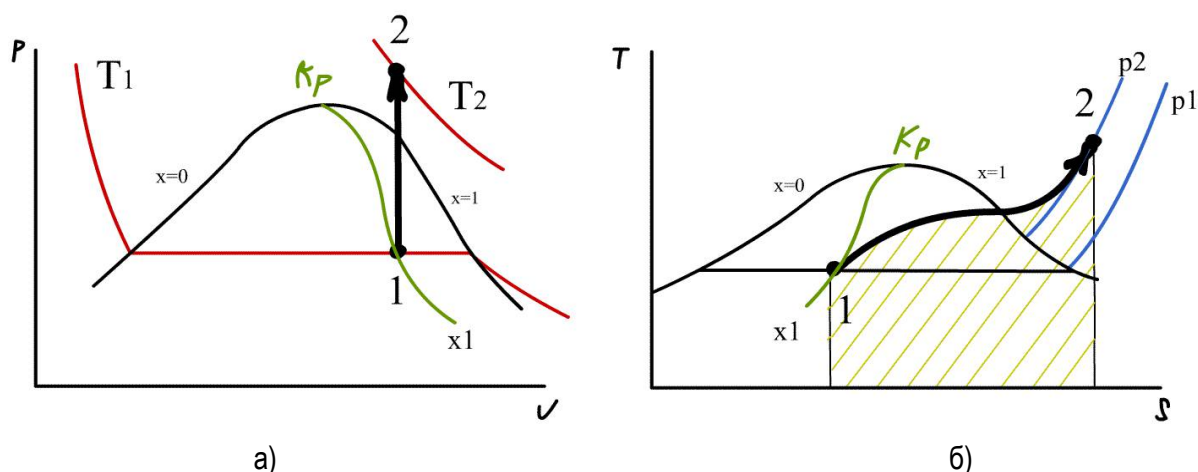


Рис. 6. Диаграммы для изохорного процесса: а) p-v и б) T-s

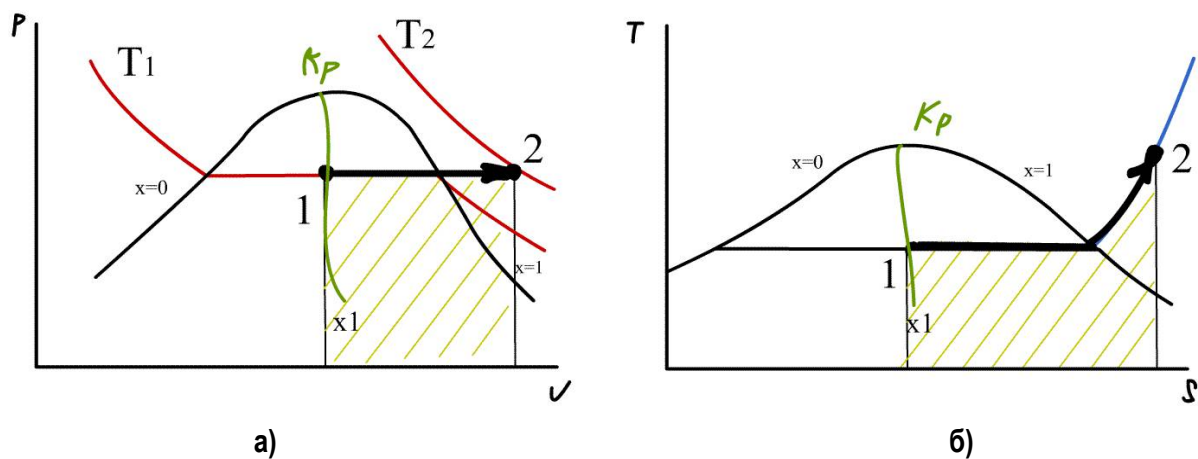


Рис. 7. Диаграммы для изобарного процесса: а) p-v и б) T-s

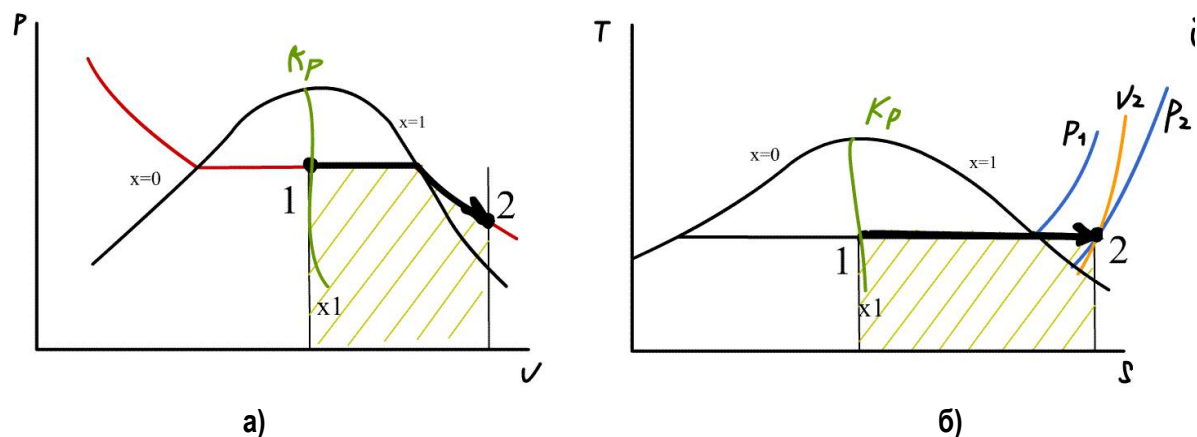


Рис. 8. Диаграммы для изотермического процесса: а) p-v и б) T-s

На рис. 9 изображен адиабатный процесс 1-2. Напомним, что адиабатным процессом называют такой термодинамический процесс, в котором к системе не подводится и от системы не отводится теплота, т.е. $q = 0$. Площадь под кривой процесса в p-v координатах равна работе, и, следовательно, изменению внутренней энергии вещества. При идеальном адиабатном процессе энтропия системы сохраняется постоянной (рис. 9, б).

В реальных условиях процесс является адиабатным в тех случаях, когда система снабжена хорошей теплоизоляцией или когда процесс расширения (сжатия) газа происходит настолько быстро, что не успевает произойти сколько-нибудь заметный теплообмен с окружающей средой.

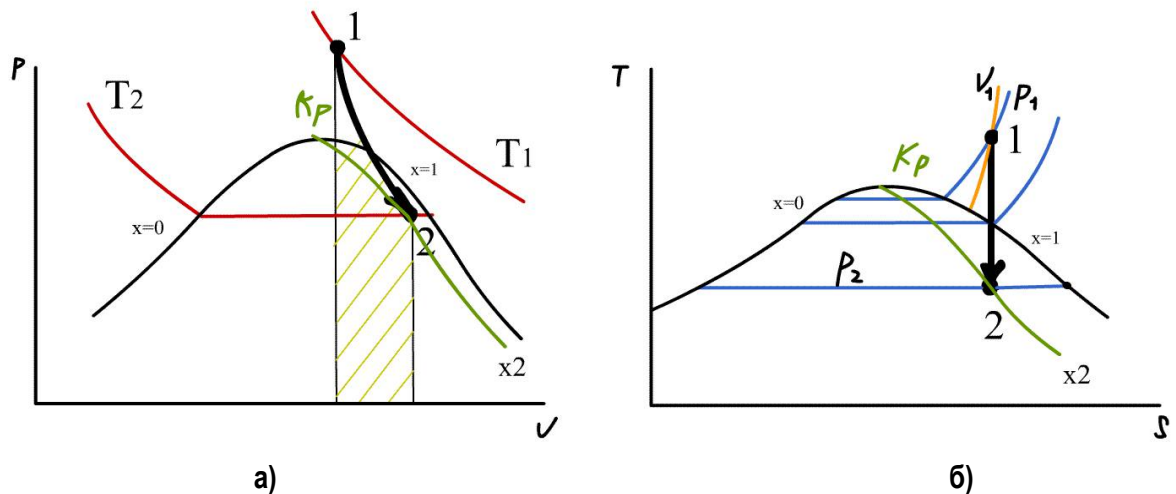


Рис. 9. Диаграммы для адиабатного процесса: а) p-v и б) T-s

Адиабатный процесс описывается уравнением Пуассона: $p v^k = \text{const}$, где k - показатель адиабаты.

Значение показателя адиабаты k существенно различается в различных фазовых состояниях вещества. Для газов и паров значение k меняется с температурой (уменьшается) относительно слабо, причем для большинства газов значения k лежат в интервале 1,3—1,7; значения k заметно изменяются лишь вблизи пограничной кривой.

Ниже приведены примерные значения показателя адиабаты k идеального газа:

Газ	k
Одноатомный	1,67
Двухатомный	1,40
Трех- и многоатомный	1,29

Для воздуха показатель адиабаты в идеально-газовом состоянии равен примерно 1,40.

Для твердых тел и жидкостей k весьма велик, причем значение k заметно изменяется с температурой. Так, для воды при $t = 0^\circ\text{C}$ $k = 3\,602\,000$, при $t = 50^\circ\text{C}$ $k = 187\,000$, при $t = 100^\circ\text{C}$ $k = 22\,300$.

Для любых двух точек на адиабате величины p и v в этих точках связаны между собой соотношением, которое следует из уравнения Пуассона: $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$, где k — показатель адиабаты, постоянный в интервале состояний между точками 1 и 2. Если же значение k перемененно в данном интервале параметров состояния, то применяют средний в этом интервале показатель $k_{\text{ср}}$.

Если принять величину $k=1$, то адиабатный процесс превращается в изотермический (проверьте это самостоятельно).

Таким образом, мы рассмотрели некоторые отличия термодинамики для идеального и реального газа, что, надеемся, поможет вам в дальнейшем более глубоко изучать данный раздел и может быть он заинтересует вас настолько, чтобы связать свою профессию с изучением строения веществ и процессов их преобразования.

Литература

1. Горбунов А.К., Панаиотти Э.Д., Силаева Н.А. Курс физики для довузовской подготовки: Учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. 340 с.
2. Кириллин В.А., Сычёв В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2008. 496 с.
3. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / Пер. с англ. Ю.А., Данилова и В.В. Белого. М.: Мир, 2002. 461 с.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В КОРНЕВЫХ СИСТЕМАХ РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

ЦВЕТНОВА Ольга Борисовна

*кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
кафедры радиэкологии и экотоксикологии,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

ЩЕГЛОВ Алексей Иванович

*доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиэкологии и экотоксикологии,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Многочисленные исследования, посвященные особенностям накопления техногенных радионуклидов в растениях, проводимые как в модельных экспериментах, так и в натурных условиях, до настоящего времени не выявили закономерностей аккумуляции этих элементов в корневых системах. Как правило, она затушевывалась обстоятельной оценкой перераспределения радионуклидов по структурам надземной части растений. Вместе с тем, еще в дочернобыльский период было установлено, что на аккумуляцию этих элементов влияет видовой состав растительности и химическая природа радионуклида [6]. Так, по сравнению с корнями накопление ^{90}Sr надземной частью растений выше у лиственницы, березы, осины, из видов травяно-кустарничкового яруса – ракитника, сныти, кошачьей лапки, вероники лекарственной. Напротив, у сосны, представителей семейства злаковых, бобовых, брусники, золотой розги и ряда других видов более высокое накопление этого радионуклида отмечается в корнях. При этом аккумуляция ^{137}Cs практически во всех случаях выше в корневой системе растений, за исключением лиственницы, у которой она максимальна в хвое. Однако при этом вынос ^{90}Sr и ^{137}Cs из почвы надземной и корневой биомассой в процентном отношении практически одинаков. Для сельскохозяйственных культур также было установлено более высокое накопление ^{137}Cs в корнях растений [2].

В исследованиях, проведенных после аварии на ЧАЭС, было показано, что корни древесных растений играют огромную роль в процессах рассеивания радионуклидов в почве [13]. По данным этих авторов, при увеличении корненасыщенности почвы интенсивность миграции радионуклидов усиливается в 3-4 раза, поскольку корни «закачивают» радиоактивные элементы из зоны их максимальной аккумуляции (0-5 см) в надземные части растений. В последующем радионуклиды с пластическими веществами поступают во всю корневую систему и активно поступают в окружающую среду в процессе функционирования корней и при их отмирании.

Отмечалось, что удельная активность корней находится в обратной зависимости от глубины их залегания и в прямой от физиологической активности [7]. При этом в целом авторы не отмечали определенных взаимосвязей между уровнями загрязнения корней и других структур сосны при выраженной известной зависимости изменения их удельной активности и плотности загрязнения почв.

Было также показано, что удельная активность ^{137}Cs в корнях древесных растений не превышала уровней его накопления в надземной части, за исключением древесины (рис.1). Однако в целом удельная активность ^{137}Cs в корнях примерно в 1,8 раз выше, чем средневзвешенная величина этого показателя в надземной части. Аналогичные результаты были получены и в наших предшествующих исследованиях в экосистемах на территории 30-км зоны отчуждения ЧАЭС (Украина), последние были рассчитаны исходя из запасов радионуклида во всех структурах надземной части сосняка [11].

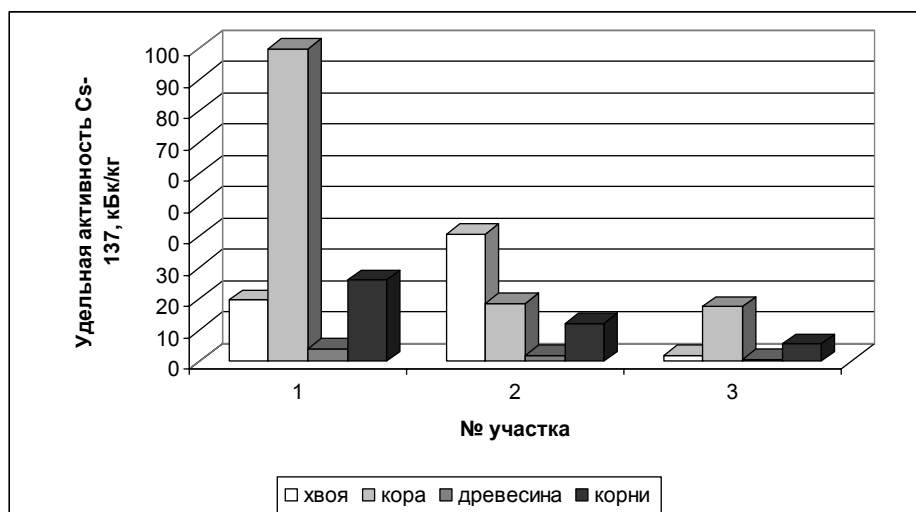


Рис. 1. Удельная активность различных структур древостоя сосны по ^{137}Cs в начальный период после выпадений [13]. Условные обозначения: уч. 1 – плотность загрязнения 0-5 см слоя почв по ^{137}Cs – 160 Ки/км^2 ; уч. 2 – 74 Ки/км^2 ; уч. 3 – 49 Ки/км^2 .

Кроме того, были установлены основные механизмы накопления радионуклидов корневыми системами растений. Показано, что в растительную клетку они поступают по селективному и неселективному путям, представленными в основном ионными каналами и утечкой плазмолеммы при значительном влиянии на этот процесс анопласта (клеточной стенки). Причем доля каждого из этих процессов определяется составом среды [10].

Вместе с тем так и не решенным остался вопрос, касающийся соотношения накопления радиоактивных элементов в надземной и подземной частях растений, и факторах, определяющих это накопление.

В последнее время возрос интерес к особенностям накопления радионуклидов в корнях растений, что, возможно, связано с необходимостью более углубленного изучения механизмов, отвечающих за первичное поступление и вторичное перераспределение этих элементов по растительному организму. Как уже отмечалось, сведения, приводимые в научных публикациях, крайне противоречивы. В целом ряде отечественных и зарубежных работ, затрагивающих вопросы накопления техногенных радионуклидов в растениях природных и агроэкосистем, отмечаются различные, а именно: 1) более высокое накопление радионуклидов в корневых системах [5, 7, 9, 16, 20]; 2) более высокая аккумуляция их в надземной части растений [14, 18, 22], что характерно и для стабильных изотопов этих элементов, в частности ^{133}Cs [15]; 3) неоднозначное накопление радионуклидов в надземной и подземной частях растений [4, 17].

В связи с этим целью настоящих исследований явилась оценка роли корневых систем в накоплении и перераспределении ^{137}Cs в растительном покрове природных (лесных) и агроэкосистем в различные периоды после черномыльских выпадений.

Работы проводились на участках 30-км зоны отчуждения ЧАЭС, Украина (1992-1993 гг.) и Брянской области РФ (2013-2014 гг.), характеризующихся сходными формами выпадений (топливная компонента), а также достаточно однотипными почвенными и фитоценоотическими особенностями. Объектами исследований послужили лесные экосистемы: 1) на территории Украинского Полесья – сосняк разнотравно-зеленомошный 60-летнего возраста, сформированный на вторично оподзоленных песчаных почвах на флювиогляциальных отложениях. Плотность загрязнения 0-20 см слоя почв ^{137}Cs по данным на 1992 год составляла 2153,8 кБк/м^2 [21]; 2) на территории Брянского Полесья – сосняк-зеленомошник 70-80-летнего возраста, сформированный на слабоподзолистых иллювиально-железистых песчаных почвах на флювиогляциальных отложениях, в древостое которого доминирующей породой является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), встречаются также дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), ель европейская (*Picea abies* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.). Плотность загрязнения 0-20 см слоя почв ^{137}Cs по данным на 2014 год варьировала от 1458,4 в сосняке до 2578,3 кБк/м^2 в березняке [12]. Кроме того, для оценки накопи-

тельной способности корневых систем растений в 2013 -2014 гг. на территории Брянского Полесья исследования проводили также на участках агроценозов, занятых под посевы ряда сельскохозяйственных культур, характеризующихся различным строением корневой системы. Плотность загрязнения 0-20 см слоя почв ^{137}Cs по данным на 2014 год в среднем составляла 144,3. кБк/м².

На каждом из рассмотренных участков в периоды исследования проводился отбор образцов 0-20 см слоя почв для определения плотности загрязнения по ^{137}Cs , а также структур надземной и подземной частей растений. В 1992-1993 года отбирали только компоненты древостоя сосны, в 2013-2013 годах – сосны, березы, дуба, рябины, а также некоторых видов травяно-кустарничкового яруса, таких, как вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* L.), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.), марьянник дубравный (*Melampyrum nemorosum* L.). На участках агроценозов были отобраны пробы культурных растений с различным строением корневой системы (стержневой, мочковатой): гречиха (*Fagopyrum sagittatum* Gilib), овес (*Avena sativa* L.), вика (*Vicia sativa* L.)

Определение удельной активности ^{137}Cs в структурах древостоя проводили на основании выбора модельных деревьев, которые спиливали и разделяли на структурные части. Виды травяно-кустарничкового яруса и культурной растительности, отобранные на участках лесных и агроэкосистем, также разделяли на соответствующие структуры. Для оценки удельной активности корней древесных растений на каждой площадке выбиралось модельное дерево, в направлении от ствола которого закладывалась траншея на ширину кроны. Из траншеи послойно отбирались образцы почвы с корнями древесных растений-эдикаторов (сосны, березы, дуба, рябины). Глубина отбора составляла 70 (1992 гг.) - 20 см. Методика отмывки корней включала снятие 10-см слоев почвы с последующим отбором корней различного диаметра [1]. Почву после замачивания промывали на наборе сит с различными диаметрами, посредством этого корни были разделены на различные фракции: 0 - 3 мм; 3 - 10 мм; 10 - 20; > 20 мм. Для определения удельной активности ^{137}Cs все пробы почв, растений, корней после фракционирования измельчали, затем высушивали при температуре 105°C и тщательно размалывали до однородной массы. Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs во всех пробах проводили без озоления на спектрометрическом комплексе Мультирад (страна изготовитель РФ). Гамма-спектрометрию осуществляли на анализаторе со сцинтилляционным NaI (TI) детектором. Предел обнаружения ^{137}Cs - 3 Бк/пробу; погрешность определения – 10-15%.

Результаты исследований.

В наших предшествующих исследованиях распределения ^{137}Cs в корнях сосны обыкновенной, произрастающей в лесных экосистемах на территории 30-км зоны отчуждения ЧАЭС, было показано, что средневзвешенная удельная активность радионуклида в подземной части в 1.5-2 раза выше, чем в надземной [21]. Это подчеркивалось нами выше. При этом удельная активность корней сосны, локализованных в 0-70 см слое почв, меняется в зависимости от глубины их залегания в почвенном профиле, диаметра и структурной части. Наибольшей величины она достигает в корнях, развивающихся в верхних почвенных слоях, а также тонких сосущих корешках диаметром 1-2 мм; в крупных корнях и с глубиной концентрация ^{137}Cs в подземных органах уменьшается в несколько раз, что обусловлено увеличением доли минимально загрязненной структурной части корня - древесины и соответствующим изменением активности ^{137}Cs в корнеобитаемой толще почв. При этом активность корней превосходит удельную активность минеральных слоев корнеобитаемой толщи, причем эти различия нарастают с глубиной: от 2-х - кратного превышения в слое 0-10 см до 100- кратного в слое 30-70 см [11,19,21]. Отсюда был сделан вывод о роли корней в миграции радионуклида в профиле почв.

Также было отмечено, что распределение ^{137}Cs по структурным частям корней (древесина, кора) более однородно, чем в ветвях и стволе дерева, хотя тенденция изменения удельной активности радионуклида в аналогичных структурах подземной и надземной частей одна и та же: минимально загрязнена древесина и максимально камбий и кора наружная (рис. 2).

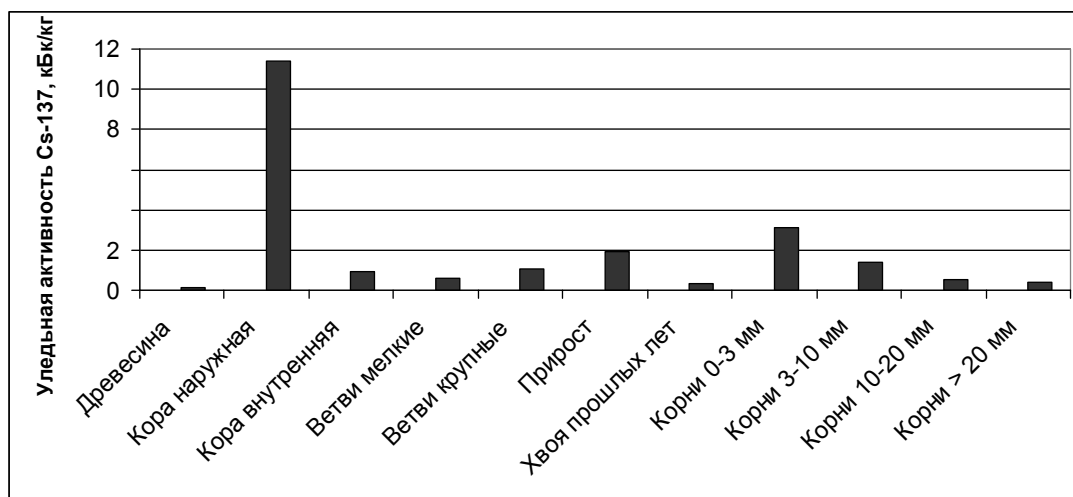


Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs в различных структурах древостоя сосны, по данным на 1992 г. [11,19,21].

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что отношение удельной активности у различных структур надземной части древостоя к аналогичному показателю у корней различного диаметра широко варьировало и изменялось в диапазоне 0,01 - 12,4, с минимальными значениями, полученными для древесины, и максимальными – для наружных слоев коры, имевших в рассматриваемый период наиболее высокие уровни загрязнения. В целом же на начальном этапе после выпадений отмечались заметные различия в накоплении радионуклидов в надземной и подземной частях древостоя. Наибольшее сходство прослеживалось только в загрязнении корней диаметром > 20 мм и крупных ветвей.

Исследования, проведенные в 2013-2014 гг., выявили, что на этапе корневого потребления радионуклидов, прослеживаются несколько иные закономерности. Так, у хвойных пород, в частности у сосны, удельная активность мелких корней (d 0-3 мм) наиболее близка к удельной активности ветвей мелких, а крупных корней (d 3-10 мм) – к удельной активности ветвей крупных. У лиственных пород, таких как береза, удельная активность мелких корней превышает таковую всех структур древостоя надземной части, а удельная активность крупных корней наиболее близка к удельной активности ветвей мелких (рис.3).

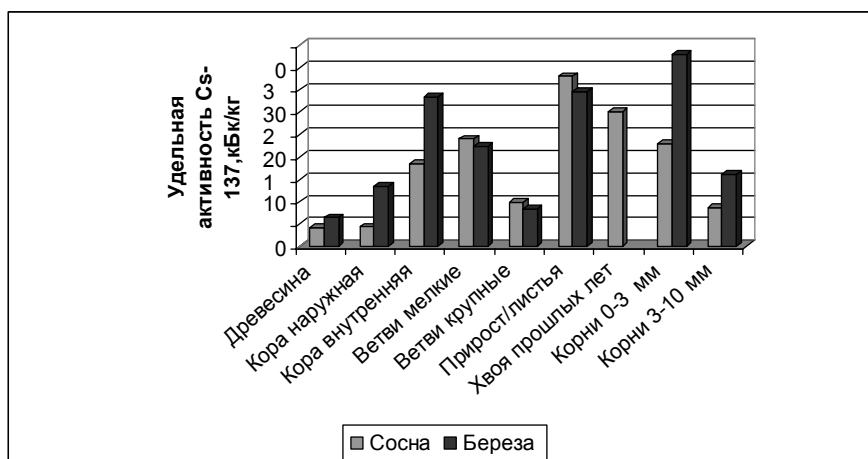


Рис. 3. Удельная активность ^{137}Cs в различных структурах древостоя сосны и березы, по данным на 2014 г.

Более детальные исследования, проведенные для таких лиственных пород, как дуб и рябина, подтвердили вывод, что у мелких корней (d 0-3 см) удельная активность наиболее близка к таковой ветвей мелких. При этом соотношение удельной активности крупных корней и различных структур надземной части может меняться в зависимости от вида древостоя. Так, у дуба и березы рассматриваемый показатель наиболее близок к удельной активности ветвей крупных, а у рябины, напротив, - ветвей мелких.

Интересно также отметить, что у травянистых растений, произрастающих под пологом древесных пород, с очевидностью прослеживается отмеченное ранее влияние вида растения на накопление ^{137}Cs в корнях (рис. 4).

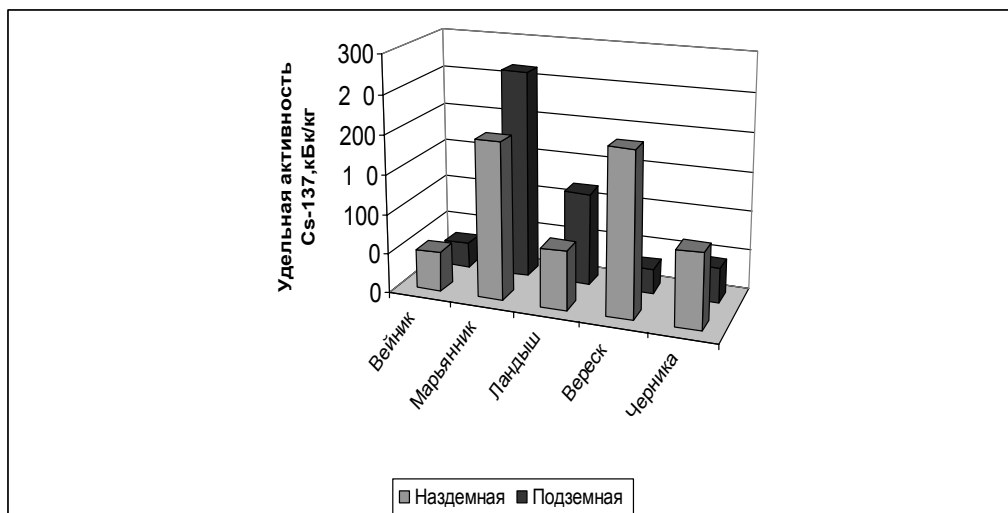


Рис. 4. Удельная активность ^{137}Cs в надземной и подземной части видов травяно-кустарничкового яруса соснового биогеоценоза Брянской области, по данным на 2014 г.

Так, все виды травяно-кустарничкового яруса по сравнению с древесными породами имеют значительно более высокие уровни накопления ^{137}Cs , при этом отчетливо выделяются растения, характеризующиеся повышенным накоплением радионуклида в надземной части – черника, вейник наземный, вереск обыкновенный – или, напротив, в подземной – ландыш майский, марьянник дубравный. Наибольшие различия отмечаются у вереска. В то же время, культурные растения, по сравнению с лесными видами, характеризуются значительно меньшими уровнями аккумуляции ^{137}Cs , что обусловлено, в первую очередь, более низкими плотностями радиоактивного загрязнения на этих участках. Здесь во всех случаях, независимо от типа корневой системы, максимальное накопление радионуклида происходит в подземной части (рис. 5).

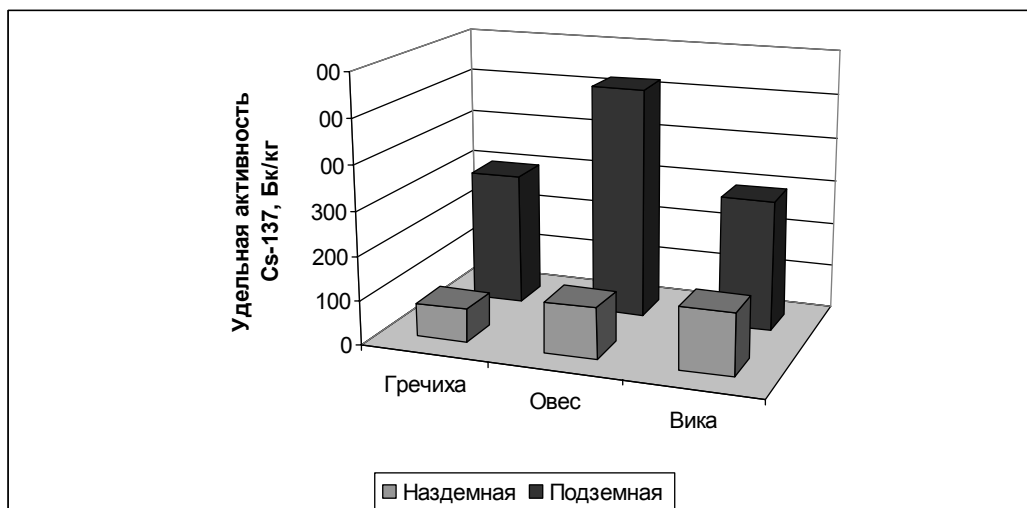


Рис. 5. Удельная активность ^{137}Cs в надземной и подземной частях культурных растений агроценоза, по данным на 2014 г.

Таким образом, можно констатировать, что на современном этапе корневого потребления радионуклидов накопление ^{137}Cs в корнях растений в наибольшей степени зависит от видовых особенностей и типа биогеоценоза. В древесном ярусе лесных БГЦ для хвойных пород характерно, что удельная активность мелких корней (d 0-3 мм) наиболее близка к удельной активности ветвей мелких, а крупных корней (d 3-10 мм) – к удельной активности ветвей крупных.

У лиственных пород удельная активность мелких корней превышает таковую всех структур древесной надземной части, а удельная активность крупных корней наиболее близка к удельной активности ветвей мелких. В травяно-кустарничковом ярусе лесных БГЦ выделяются растения, характеризующиеся как повышенным (черника, вейник наземный, вереск обыкновенный), так и пониженным (ландыш майский, марьянник дубравный) накоплением ^{137}Cs в подземной части. В растениях агроценозов независимо от типа корневой системы максимальная аккумуляция радионуклида происходит в подземной части.

Литература

1. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. и др.* Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 183 с.
2. *Гулякин И.В., Юдинцева Е.В.* Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968, 472 с.
3. *Ермакова О.О.* Аккумуляция радионуклидов растениями живого напочвенного покрова сосняков // Тезисы докладов 3 съезда по радиационным исследованиям. Радиобиология, радиэкология, радиационная безопасность. Пущино, 1997. Т. 2. С.346-347.
4. *Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В. и др.* Особенности накопления техногенных радионуклидов сельскохозяйственными культурами в районе проведения наземных ядерных испытаний (пл. «Опытное поле») // Сб. трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 год «Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана». Курчатов, 2011. Т.2. Вып. 3. С. 59-85.
5. *Мамихин С.В.* Роль корневых систем в накоплении и перераспределении ^{137}Cs в почвах и растительном покрове лесных экосистем // Вестник Московского университета. Сер. 17. М., 2002. № 1. С. 3-6.
6. *Махонина Г.И., Тимофеев-Ресовский Н.В., Титлянова А.А., Тюрюканов А.Н.* Распределение стронция-90 и цезия-137 по компонентам биогеоценоза // Доклады академии наук СССР. 1961. Т. 140, № 5. С. 1209-1212.
7. *Переволоцкий А.Н.* Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель РНИУП «Институт радиологии», 2006. 255 с.
8. *Романцова Н. А.* Особенности биогеохимических циклов цезия-137 в травянистых экосистемах на радиоактивно загрязненной территории Тульской области. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. М., 2012. 24 с.
9. *Сковородникова Н.А.* Миграция ^{137}Cs в почвах различных экосистем Брянского Полесья. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. Брянск, 2005. 24 с.
10. *Соколик А.И., Юрин В.М., Агеев В.Ю.* Основные пути накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr корневыми системами растений // Тезисы докладов 4 международной научно-технической конференции «Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС». Зеленый мыс, 1994. С. 233.
11. *Щеглов А.И.* Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, 1999. 268 с.
12. *Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Касацкий А.А.* Динамика загрязнения ^{137}Cs различных компонентов лесных экосистем Брянского Полесья // Вестник Московского университета. Сер. 17. 2014. № 3. С. 17-22.
13. *Якушев В.И., Казей А.П., Сак М.М. и др.* Роль биотических факторов в круговороте радионуклидов в природно-растительных комплексах // Доклады 3-его Всесоюзного научно-технического совещания по итогам последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Т. 4, Ч. 1. «Радиэкологические аспекты последствий аварии». Зеленый мыс, 1992. С. 109-122.
14. *Chibowski S.* Studies of Radioactive Contaminations and Heavy Metal Contents in Vegetables and Fruit // Polish Journal of Environmental Studies. 2000. Vol. 9, No. 4. P. 249-253.
15. *Dong Jin Kang, Yong Jin Seo, Tsukasa Saito et al.* Uptake and translocation of cesium-133 in napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.) under hydroponic conditions // Ecotoxicology and Environmental Safety. Elsevier, 2012. No. 82. P. 122-126.

16. Fircks Y. von, Rosen K., Sennerby-Forsse L. Uptake and distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in *Salix viminalis* plants // Journal of Environmental Radioactivity. Elsevier, 2002. No. 63. P. 1–14.
17. Grabovskiy V.A., Dzendzelyuk O.S., Kushnir O.S. Temporal and seasonal variation of radiocaesium content in some plants from the western part of Ukrainian Polesye // Journal of Environmental Radioactivity. Elsevier, 2013. No. 117. P. 2-8.
18. Juznic K., Korun M., Miklavzic U. Radioactivities of ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{90}Sr in the environment of the "KRSKO" power plant // Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments / ed. G.Desmet / Elsevier Applied Science, Barking, UK, 1990. P. 598-602.
19. Rafferty B., Kliashtorin A., Kuchma N., Ruehm W., Shcheglov A., Tikhomirov F., Zhuchenko T. Radionuclide partitioning in forest ecosystems // Behaviour of radionuclides in natural and seminatural environments. Experimental collaboration project No. 5. Final Report, European Commission, 1996. P. 38-42.
20. Sennerby Forsse L., Melin J., Rosen K., Siren G. Uptake and Distribution of Radiocaesium in Fast-Growing *Salix viminalis* L // Journal of Sustainable Forestry. 1994. No. 1(3). P. 93-103.
21. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Kliashtorin A.L. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems. M.: Nauka, 2001. 235 p.
22. Zhianski M., Sokolovska M., Lucot E., Badot P.-M. Cs-137 contamination in forest ecosystems in southwest Rila Mountain, Bulgaria // Environmental Chemistry Letters. 2005. No. 3(1). P. 49-52.

О НЕКОТОРЫХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В ОЦЕНКЕ ЗЕМЕЛЬ

БОГАТЫРЕВ Лев Георгиевич

*кандидат биологических наук, лауреат премии президента РФ
в области образования, заслуженный преподаватель, факультет «Почвоведения»
МГУ им. М.В. Ломоносова*

МАСЛОВ Михаил Николаевич

*кандидат биологических наук, лауреат премии Президента РФ
по поддержке талантливой молодежи, факультет «Почвоведения»
МГУ им. М.В. Ломоносова*

Введение

Анализируя развитие почвоведения, как одной из важнейших естественных наук, без преувеличения можно сказать, что ни одно из направлений, ведущих свое начало от фундаментальных основ генетического почвоведения не сделало так много для практического земледелия как оценка земель (Богатырев, 2015). Несомненно, что это направление всегда привлекало внимание ученых разных стран и развивалось в различных национальных школах почвоведения на всех континентах без исключения. Это обстоятельство объясняется тремя важнейшими проблемами, которые имели и имеют общегосударственное значение – это стремление получать максимально возможную продукцию, решать вопросы налогообложения и рационально использовать земельные ресурсы. Сложившаяся концепция В.В. Докучаева о естественной правоспособности почв, как первой и основной части оценки почв, постепенно наполнялась во времени последовательными материалами по географии почв, их генезису и свойствам. Этот раздел почвоведения развивался от чисто эмпирических исследований – до крупных теоретических обобщений. От первых, не потерявших до сих пор правил бонитировки почв по Н.М. Сибирцеву – до современных интерпретационных законов профессора Тимирязевский академии В.И. Савича. Оценка почв являет собой прекрасный пример сочетания дедуктивных и индуктивных методов в естествознании, каждый раз отражая в себе специфику географического положения оцениваемой территории с особенностями национальной политики. Так, бонитировка почв позволяет проследить изменение государственной политики в области ведения сельского хозяйства и характер ее влияния на ме-

тодологию оценки почв. На примере бонитировки хорошо прослеживается постепенное насыщение исследований методами математической статистики – от простейших с современной точки зрения регрессионных уравнений до создания моделей плодородия. За кажущимся с первого взгляда разнообразием подходов и методов в бонитировке всегда лежит стремление получить максимально полезную информацию о плодородии почв. Последнее не случайно признано одним из важнейших эмерджентных свойств почвы.

Теоретической составляющей бонитировки является то, что она постоянно обращалась к одной из важнейших проблем почвоведения, да и других смежных дисциплин, в том числе и биологических – продуктивности наземных сообществ. Не случайно академик Е.М. Лавренко в свое время называл продуктивность одной из важнейших задач исследования биогеоценотического процесса. В оценке земель согласно международной организации по продовольствию- ФАО продуктивность является ведущим и основным критерием оценки земель. Важно отметить взаимодействие различных дисциплин в вопросах оценки земель, причем довольно широкое – от почвоведения и агрохимии – до микробиологии и геохимии. На базе оценки земель сформировались новые направления – от эколого-агрофизической – до эколого-экономической оценки почв. Да и современная концепция экологического нормирования в своей основе базируется на принципе оценки все тех же важнейших свойств почв, совокупность которых В.В. Докучаев называл естественной правоспособностью.

Исторически земельный кадастр в той или иной форме всегда сопровождал развитие и становление новых идей в области научного использования земель и самое главное совершенствование кадастровой системы. В России, по крайней мере, до фундаментальных работ В.В. Докучаева научная основа оценки земель отсутствовала. В.В. Докучаев сформулировал представление о естественной правоспособности почв, понимая под нею: а) основной фактор, определяющий почти все другие факторы ценности и доходности почв, а потому – б) «... могущий служить простейшим масштабом, мерой при изучении всех остальных ценопроизводителей наших почв; в) изучение этого фактора сокращает время, труд и стоимость дальнейших статистико-экономических оценочных работ (Докучаев, 1954, 562-644). В.В. Докучаев так формулировал задачи в области оценки земель:

«Прежде всего необходимо было произвести исследование естественной правоспособности почв – иначе говоря определить природные достоинства пахотных земель, на основании геологических, химических и физических особенностей их; эта половина работы должна быть произведена специалистами-почвенниками и притом исключительно на основании одних научных данных, почти без всякого участия местных жителей» после определения естественных почвенных районов следует приступить к подробному сельскохозяйственно-экономическому обследованию данных районов, причем все эти исследования должны быть произведены в строжайшей зависимости от естественных условий местности; эта вторая половина оценочных работ будет исполнена специалистами – статистиками при непрерывном и деятельном участии местных управ, а если можно, то и при содействии местных знатоков края»

В.В. Докучаев считал, что правильная бонитировка почв возможна только в том случае, если в основу разделения почв и земельных угодий на классы, разряды, почвенные группы будут положены их природные качества как наиболее объективные и надежные показатели. «Естественная правоспособность почв, — утверждал В.В. Докучаев, есть главнейший и основной фактор ценности и доходности земли, почему и должен служить главным основанием исследования других факторов» и «является почти единственно возможным способом определения относительной ценности земель... без обстоятельного, строгого научного изучения почв самая тщательная статистико-экономическая и статистико-сельскохозяйственная оценка земельных угодий не будет достаточно обоснована, не будет достаточно полна, а поэтому, во многих случаях, и не может повести к благим разумным мероприятиям» [5: 345].

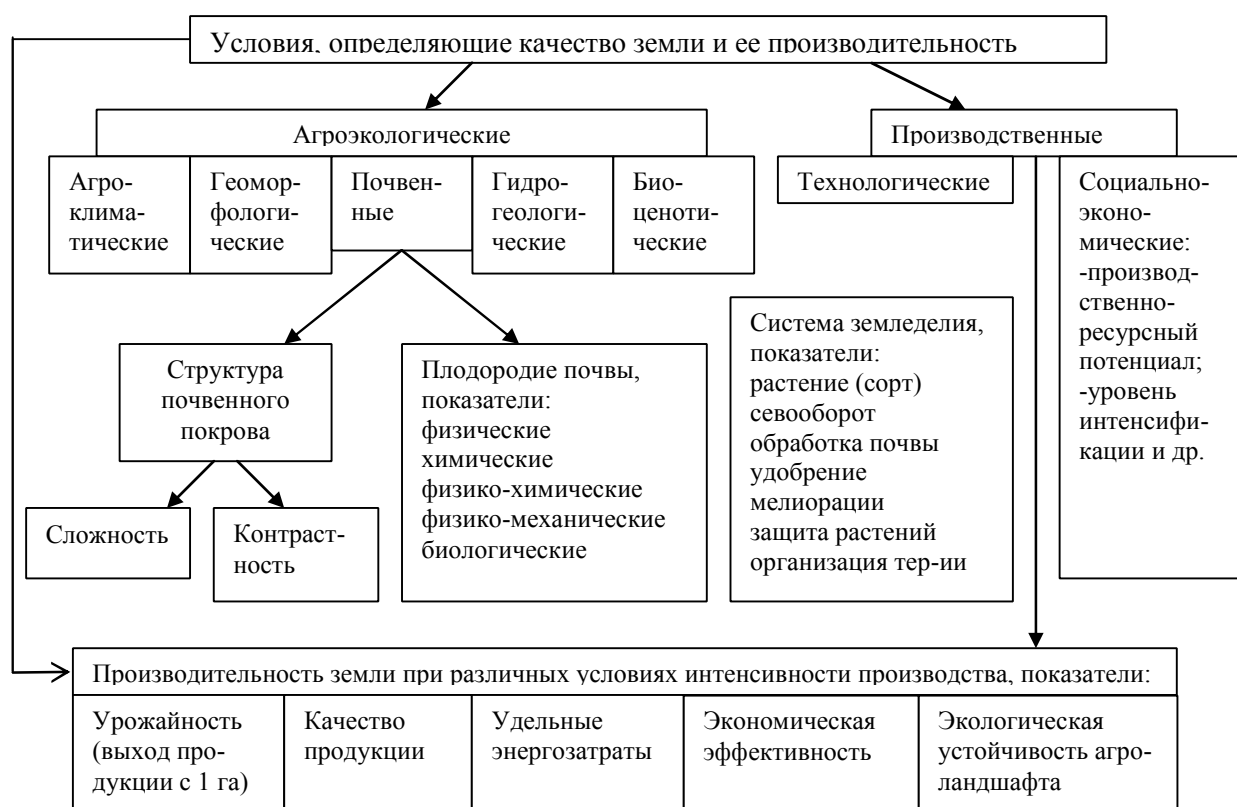
Таким образом, В.В. Докучаев считал, что первоосновой бонитировки является изучение ее важнейших свойств и предложил целую систему исследования почв, которая со временем совершенствовалась и была положена в основу практической оценки земель.

Одно из важнейших последствий развития концепции В.В. Докучаева на оценку земель заключается в том, что она дала существенный толчок к развитию исследования почвенного покрова России, становлению и развитию картографии, изучению особенностей условий продуктивности земель и факторов ее ограничивающих. Безусловно, это привело к развитию таких современных концепций в облас-

ти земельного кадастра как агроэкологическая оценка земель, разработке моделей плодородия, эколого-агрофизической оценке земель и другие. Сохраняется классическое направление, включающее в себя бонитировку и качественную оценку земель. Все большую роль при обретае эколого-экономическая оценка земель. Разрабатываются **региональные модели плодородия почв** – территориальный эталон группы почв, близких по агрономическим свойствам к региональным почвенно-климатическим особенностям. Региональные модели высокого плодородия почв служат эталоном для сравнения с территориально преобладающими фактическими параметрами свойств почв, которые предполагается оптимизировать до уровня параметров модели. Для региональных моделей разработана единая, унифицированная форма – паспорт (Булгаков, 1989).

Приводимый ниже рисунок характеризует условия, которые определяют качество земли и ее производительность.

Условия, определяющие качество земли и ее производительность [7]



Наряду с этим разрабатываются новые методы и подходы в области оценки земель, характеризующиеся своей спецификой.

Так, например, **эколого - агрофизическая оценка орошаемых почв** включает в себя исследование трех основных режимов: 1) водного – почв и растений; 2) солевого – почв; 3) структуры порового пространства, в частности воздушного режима. Экологический аспект заключается в оценке взаимосвязей почв с контактирующими элементами экосистемы, - потоков веществ на границах рассматриваемого почвенного профиля [12].

Близка к этому **агромелиоративная оценка**. В зависимости от мелиоративных задач набор критериев в этой оценке может быть различен и составлять различные группы. Первая группа – это обычные свойства, вторая – состав водной вытяжки, третья – минерализация и состав грунтовых вод [1].

Специфической является **эколого-гидрологическая оценка**, направленная на решение следующих вопросов: а) целесообразности осушения; б) оценки осушительного действия разных видов

дренажа; в) оценки изменения гидрологического режима в результате дренажа; г) оценки влияния разных видов дренажа на продуктивность культур [6].

Более широкое понимание вкладывается в **агропроизводственную (агро-экономическую) оценку земли, которая проводится с точки зрения эффективности возделывания отдельных с/х культур и эффективности дополнительных вложений на землях разного качества**. АО служит для определения оптимальных вариантов размещения производства, соединения земельных, материальных и трудовых ресурсов [3].

В числе специфических следует считать **техническую оценку** технологических свойств земель. В этой оценке предметом является: энергоёмкость почв, контурность угодий, каменистость почв и участков, рельеф угодий, размещение полей относительно хозяйственных центров, энергоёмкость земли как природного тела. Критерии и показатели оценки – затраты механической энергии с/х машин (Руди, Махт, 1976).

Эколого-биологическая оценка, В ее основе лежит изучение экологических последствий «применения препаратов на агрохимические свойства и микробоценоз в различных типах почв при длительном применении повышенных доз удобрений, и особенно удобрений в сочетании с химическими средствами защиты растений, как в краткосрочных, так и длительных опытах» (Минеев, Ремке, 1995).

Серьезное внимание на современном этапе уделяется особенностям почв, которые обусловлены состоянием микробных сообществ. Наиболее общий характер имеет **экологическая оценка микробных ресурсов почвы**, основанная на изучении фундаментальных особенностей микробных сообществ. Этот тип оценки построен на нескольких принципах. Первый из них предусматривает географический подход, второй-вертикально-ярусный, тогда как третий – очаговый или микролокусный и последний подход – сукцессионный.

Более общий характер имеет **оценка самоочищающей способности и здоровья почв**. В ее основе лежит представление о здоровой почве. Под такой почвой понимается нормативно чистая почва, не содержащая техногенные радионуклиды, ксенобиотические и природные поллютанты, а также (фито) патогенные агенты сверх допустимых санитарно-гигиенических, экологических и фитосанитарных нормативов. Функциональные характеристики здоровой почвы связаны с её сбалансированным биоразнообразием, самоочищающей способностью, супрессивностью и другими свойствами. Здоровье почвы определяется способностью ее аборигенной биоты функционировать активно и неопределенно долго. За рубежом здоровье почвы определяется как «способность в течение длительного времени функционировать в качестве компонента наземной экосистемы, обеспечивая ее биопродуктивностью и поддерживая качество воды и воздуха, а также здоровье растений, животных и человека». Атрибутами здоровой почвы агроценозы являются: а) безвредность для здоровья человека, почвенной и наземной биоты; б) незагрязненность выращенной биопродукции и сопряженных сред (водной и воздушной); в) защищенность урожая от вредных агентов. Для оценки самоочищающей способности и здоровья почвы перспективен комплекс методов.

1. Микробная биомасса и численность микроорганизмов (методы: субстрат-индуцированное дыхание, фумигация-экстракция, прямое микроскопирование);

2. Активность микроорганизмов («почвенное» дыхание, минерализация азота – $N-NH_4$ и $N-NO_3$, N_xO);

3. Микробное разнообразие и структура сообщества (секвенирование ДНК и РНК, мультисубстратное тестирование, фосфолипиды жирных кислот);

4. Растительно-микробное взаимодействие (образование корневых клубеньков, структура арбускулярной микоризы, активность свободноживущих N-фиксаторов, фитосанитарное состояние почвы). (Соколов М.С. и др., 2010).

Специфической является **эколого-геохимическая оценка фоновое содержания углеводородов**. При оценке загрязнения почв углеводородами по существующим нормативам требуется вычисление коэффициента концентрации загрязняющего компонента, равного кратности превышения содержания данного компонента над ПДК, а при отсутствии ПДК рекомендуется использовать фоновые значения углеводородов (Безносиков, Лодыгин, 2010; Методические рекомендации..., 1995; Санитарно-эпидемиологические требования..., 2003).

Особые методы и подходы разработаны для **экологической оценки городских почв**. В условиях города часто не агрохимические факторы плодородия и не токсические вещества (тяжелые металлы, органические поллютанты и т.д.), а неблагоприятные физические и биологические свойства приводят к угнетению роста, плохой приживаемости растений и невыполнению почвами их экологических функций. А.В.Смагин (Смагин, 2006) предложил комплекс показателей и методы определения:

1. Гранулометрический состав – метод раскатывания в шнур.
2. Мощность гумусового слоя, см – буровой метод.
3. Плотность сложения, г/см^3 – буровой метод.
4. Температура почвы для верхнего 0-20 см слоя – датчики Термохрон.
5. Электропроводность, Ес, гСм/м – кондуктометрия.
6. Степень кислотности почв, pH – потенциометрический метод.
7. Степень насыщенности почвы влагой, W/W_s , где W , % - влажность почвы; W_s – полная влагоемкость.
8. Дыхание почвы, $\text{Д, мг О}_2/\text{кг/час}$. [10].

Существует другая система основных показателей мониторинга городских земель [9], в которой предусмотрены следующие группы показателей 1) показатели геологической среды; 2) почвенные показатели; 3) градостроительные показатели; 4) экологические и санитарно-гигиенические показатели. Всего предложено более 20 показателей.

Таким образом, в числе современных тенденций характерных для оценки земель свойственны следующие черты. Первая важная черта – это преемственность, которая прослеживается во времени. Вторая черта, которая является движущей и развивающей силой - это формулирование новых концепций. Такой концепцией на наш взгляд является базовая основа, которая принята на вооружение при создании единого государственного реестра почвенных ресурсов России, что вызвало к жизни принцип построения географических информационных систем (ГИС). В соответствии с этими принципами «любая выявленная в природе почва занимает определённое географическое пространство, которое представлено в виде его координатной привязки». В это случае почва имеет две группы характеристик: семантическую и геометрическую. (ЕГРППР, 2014, стр. 31). Третья важная черта – это все большее внедрение математических методов, в включая статистику и моделирование. Вместе с тем, следует сохранять принцип доступности понимания результатов оценки земель не только для узких специалистов, но и для непосредственных землевладельцев. Только в этом случае следует ждать наиболее эффективного и рационального использования результатов оценки земель.

Примером неплохой доступности для землевладельцев является оценка земель, разработанная для условий США, которая совершенно не случайно стала использоваться в Канаде и ряде других стран. За рубежом резко усилилось развитие многоцелевых кадастров, создание компьютеризированных банков данных; использование глобального спутникового позиционирования (система YPS-NASTAR, США). Кроме компьютеризированных баз данных использование спутников повысило скорость и точность измерения положения объектов недвижимости. Существенен переход в 1984 г к единой модели Земли (WGS-84 (World Geodetic System)). Многоцелевой кадастр (Multipurpose Cadastre) постепенно трансформируется в земельную информационную систему (Land Information System). Стала появляться система информатизации по отношению к отдельным земельным участкам, т.е. парцеллам (PBLIS: Parcel Based Land Information System). В интегральном плане согласно Сидоренко выделяется две системы методик оценки земель:

- 1 «парцеллярная» (французская) предусматривает вычисление стоимости участка по определенной схеме на основании значений ее природных и иных характеристик»;
- 2 «реальная» (австрийская) получила развитие в странах, находящихся под влиянием Германии, устанавливающая цену владения по его рыночной стоимости.

О разнообразии подходов в области оценки земель за рубежом дает представление таблица 1

Группировка государств в зависимости от методики земельного кадастра (по В.Н.Сидоренко)

Страны	Основные особенности кадастра
Франция, Испания, Греция	Разделение фискальных функций кадастра и реестра недвижимости, информация о грунта собирается в информационных системах Минсельхоза или Минэкономики
Страны с немецкой системой: Германия, Австрия, Швейцария	Выделение и взаимодействие кадастровой, топографо-геодезической и регистрационных систем обеспечивает высокое качество данных
Скандинавские страны	Тяготение к созданию единого многоцелевого кадастра. Сочетание страны крупномасштабных карт объектов в единой системе координат
Англоязычные страны	Преимущественное развитие не земельного кадастра, а системы регистрации прав, (регистры дел). Основой системы управления земельными ресурсами является так называемый «земельный реестр Ее величества» с 1862 г, который является реестром прав собственности

Таким образом, в настоящее время оценка земель в РФ и зарубежом характеризуется постоянным поиском новых критериев, сочетанием классических приемов исследования земельного покрова с экономической оценкой земель и широким использованием ГИС – геоинформационных систем. Знаменательно, что выдающийся агроном и статистик А.Ф. Фортунатов(1856-1925), еще в 1907 году писал следующее - « В будущих русских мероприятиях по с/х политике почвоведению должно принадлежать выдающееся значение». Эти слова актуальны и сегодня.

Литература

1. Аюшина Т.А., Абашева Н.Е., Корсунов В.М. Агромелиоративная оценка почв Гусиноозерской котловины в связи с орошением сточными водами // Почвоведение. 1995. № 9. С.1173-1177.
2. Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения. Макс Пресс, 2015. С. 195.
3. Бронштейн М.Л. Теоретические основы экономической оценки земли. Минск, 1973. С. 27–32.
4. Докучаев В.В. К вопросу о переоценке земель европейской и азиатской России. Избр. соч. Гос. изд-во с/х литературы. М., 1954. С. 562-644.
5. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. РА с/х наук. М., 2014. С. 739.
6. Зайдельман Ф.Р., Ковалев И.В. Эколого-гидрологическая оценка светло-серых лесных оглеенных почв осушенных бестраншейным и траншейным дренажом // Почвоведение. 1994. №1. С. 110-120.
7. Кирюшин В.И. Оценка качества земель и плодородия почв для формирования систем земледелия и агротехнологий // Почвоведение. 2007. № 7. С. 873-880.
8. Сидоренко В.Н. Государственный кадастр: прошлое, настоящее, будущее. М. Теис, 2003. С. 319.
9. Сизов А.П. Мониторинг и охрана городских земель. М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. 262 с.
10. Смагин А.В., Н.Д. Азовцева, Смагина М.В., Степанов А.Л., Мягкова А.Д., Курбанова А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603-615.
11. Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение. 2010. № 7. С.858-867.
12. Шеин Е.В., Гудима И. И. Методические подходы к эколого-агрофизической оценке орошаемых почв // Почвоведение, 1990. № 6. С. 86-94.

МУЛЬТИФЕРРОИКИ – ВЕЩЕСТВА-ХИМЕРЫ

ПЯТАКОВ Александр Павлович

кандидат физико-математических наук, доцент

кафедры физики колебаний,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Введение

В древнегреческой мифологии встречается чудовище под названием «химера» – животное с головой льва, туловищем козы и хвостом змеи. В обычной жизни химерами называют несбыточные идеи, что-то невозможное и принципиально не сочетаемое. Но в жизни случается всякое, самое невероятное. Даже в науке, в частности, в физике, где все подчинено законам, бывает так, что какой-то объект или явление, первоначально кажущийся невозможным и нарушающим физические законы, при более глубоком рассмотрении оказывается реальным.

В этой лекции я хочу рассказать о веществах со странным названием *мультиферроики*, необычные свойства которых, как ожидается, будут использоваться в электронике. Вещество – мультиферроик объединяет в себе магнитное и электрическое начало, а часто к нему добавляются и особые механические свойства. Химерой является и сам термин «мультиферроик», как мы увидим в дальнейшем.

Магнитоэлектрические кристаллы: два в одном

Всем нам хорошо известны магниты, их роль в нашей жизни далеко не сводится к сувенирной продукции, украшающей двери наших холодильников. Они повсюду – в сотовых телефонах, в жестких дисках персональных компьютеров, в автомобилях и сложных медицинских приборах. Способности магнита притягивать предметы посвящали свои сочинения мыслители античности, практичные китайцы изобрели компас, но по-настоящему приручить магнетизм удалось только в индустриальный 19-век, когда была понята взаимосвязь магнитного поля с электрическим током: появились мощные электромагниты, позволявшие включать и выключать магнитное поле по своему желанию, что нашло использование в подъемных кранах, магнитных сепараторах для обогащения руд и очистки кормов, электродвигателях и многих других устройствах. Конечно, в электромагнитах есть свои недостатки – при протекании тока через катушки неизбежно теряется энергия. И здесь взор ученых неизменно обращался к постоянным магнитам, не требующих для создания магнитного поля никакого источника энергии. Их свойства объясняли по аналогии с электромагнитами некими «молекулярными» токами, текущими внутри вещества в каждой молекуле. Хотя природа молекулярных токов долгое время оставалась непонятой, сама возможность вечного движения внутри вещества казалась чрезвычайно заманчивой, ведь если бы удалось с помощью электрического поля воздействовать на молекулярные магниты, то управление магнитным полем осуществлялось бы без потерь энергии.

Решение, как будто, начало наклеиваться на рубеже девятнадцатого и двадцатого веков, когда у сегнетовой соли (названа по имени французского аптекаря Пьера Сеньета (фр. Pierre Seignette), получившего ее из винной кислоты) обнаружили своеобразные электрические свойства: соляные кристаллы обладали способностью «запоминать» электрическое поле, подобно тому, как постоянные магниты помнят, в какое их магнитное поле их помещали ранее. Сходство было не только внешним: после того как научились видеть домены – крошечные однородно намагниченные области, на которые разбивается магнит, похожие, но уже *сегнетоэлектрические* домены с одинаковым направлением электрической поляризации обнаружили и в сегнетоэлектриках. Если бы удалось каким-то образом «сцепить» намагниченность и электрическую поляризацию вещества, то сбылась бы мечта о молекулярных электромагнитах, которые можно было бы переключать электрическим полем.

Однако реализации такого сценария, казалось, воспротивились сами законы геометрии, точнее того, что называется симметрией: слишком уж разные по своим свойствам электрические и магнитные векторы. Первые связаны с вектором смещения ионов кристалла от своих положений равновесия под действием внешнего электрического поля или внутренних причин, а вторые – с круговым движением электрических зарядов. Проведем такой мысленный опыт: поднесем сегнетоэлектрический кристалл к

зеркалу, так, чтобы положительно заряженные ионы смещались внутри кристалла к зеркалу (то есть электрическая поляризация смотрит в зеркало), тогда в отраженном кристалле они сместятся в противоположную сторону – поляризация изменит направление. Не так отразится в зеркале магнит: молекулярные токи, текущие по часовой стрелке в плоскости параллельной зеркалу (намагниченность, направленная в зеркало) в отражении будут течь все в ту же сторону, а это означает, что намагниченность направления не изменила. Значит, не могут эти два вектора быть скрепленными друг с другом, а очень хочется чтобы так было.

Решение этой головоломки предложили в середине прошлого века наши соотечественники Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц и И.Е. Дзялошинский: нужно использовать не простые магнитные вещества, в которых внутри одной молекулы магнитные стрелки атомов смотрят в одну и ту же сторону, а вещества *антиферромагнетики* с молекулами «тянитолкаями», где магнитные стрелки соседних атомов направлены противоположно (рис.1). Поднесем кубик-кристалл, показанный на рисунке 1 б), вплотную к зеркалу – черные и белые стрелки поменяются местами. На месте, где в продолженном за зеркало кристалле должна быть белая стрелка окажется черная, и наоборот. Антиферромагнитный кристалл – словно бы «выворотило на изнанку», то есть он ведет себя как сегнетоэлектрический кристалл, поднесенный к зеркалу.

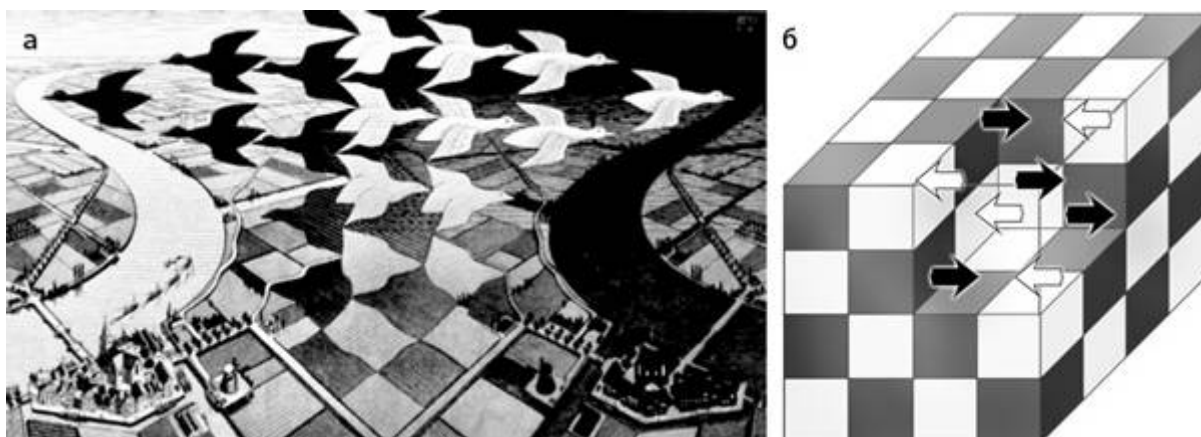


Рис. 1. Антиферромагнетизм. Идею антиферромагнитного упорядочения предвосхитили рисунки Мориса Эшера, например «День и ночь» (а), в соседних узлах кристаллической ячейки магнитные стрелки ионов направлены противоположно (б).

Иным путем, химическим, в то время пошел видный специалист по сегнетоэлектрикам Г.А. Смоленский: он в уже «готовых» сегнетоэлектриках замещал ионы магнитными элементами, и назвал такие вещества «сегнетомангнетиками».

В начале нашего века сегнетомангнетики стали называть мультиферроиками. Откуда взялось это неказистое слово? Дело в том, что в иностранной научной литературе и названия магнитов, и сегнетоэлектриков начинаются с одной приставки «ферро»: ferromagnetics, ferroelectrics, хотя исходное значение первой части слова «ферромагнетик», соответствует латинскому «железный» (лат. ferrum). Даже обнаруженные позже сегнетоэластики, в которых домены представляют собой сжатые и растянутые области, называют ferroelastics, но никакого железа в них, конечно, нет.

Подобно гоголевскому Носу, своею приставка «ферро», отделившись от хозяина-слова, зажила своей жизнью: в середине прошлого века японский ученый Кетзиро Айзу предложил называть все три класса веществ общим термином «ferroics», ферроики. А на рубеже прошлого и нынешнего веков швейцарский ученый Ганс Шмид ввел термин «мультиферроик» (от лат. мульти – много) – для обозначения вещества, которое одновременно принадлежит хотя бы двум из классов ферроиков. Слово «мульти» было механически пристыковано к «ферро» и получился термин-химера. Впрочем, в этом нет ничего необычного, ведь прочно укоренившийся в родном языке слово «автобус» получилось отсечением ничего не значащего окончания в слове «омнибус» (в переводе с латыни «всем», т.е. транспорт общественного пользования) и добавления к нему приставки от автомобиля (от др.-греч. αὐτο — сам и лат. mobilis — движущийся). А в английском языке и вовсе окончание стало полноправным словом: «bus» означает, кроме автобуса, еще и канал передачи данных.

Как магнитные спирали порождают электричество

Есть и другой способ создать электричество из магнитных стрелок. Давайте рассмотрим некоторый кристалл, достаточно симметричный для того, чтобы в нем не было каких-либо особых электрических свойств. Для существования электрической поляризации в кристалле нужно, чтобы в нем имелось *полярное направление*, т.е., переводя на обычный язык, у кристалла различался «верх» и «низ». Если верх и низ неразличимы, (в материале есть центр инверсии), то наличие электрической поляризации в нем невозможно. Что можно сделать с кристаллом, чтобы полярное направление все же появилось?

Сжать или растянуть? Нет, в этом случае появляется выделенная ось, но верх и низ у него не различаются (рис. 2 а). Подвергнуть деформации сдвига? (рис. 2 б) Опять-таки нет, поскольку при повороте на 180 градусов фигура перейдет сама в себя. Может быть, скрутить? (рис. 2 в) И снова нет, поскольку винт с отпиленной шляпкой не имеет ни верха, ни низа. Наконец, остается только деформация изгиба, и здесь-то полярное направление явно присутствует: нижние слои сжаты, верхние растянуты, см. рис. 2 г. Эффект возникновения электрического напряжения при изгибной деформации называется *флексозлектрическим* (от лат. флексо – изгиб) и присущ в той или иной степени всем диэлектрикам.

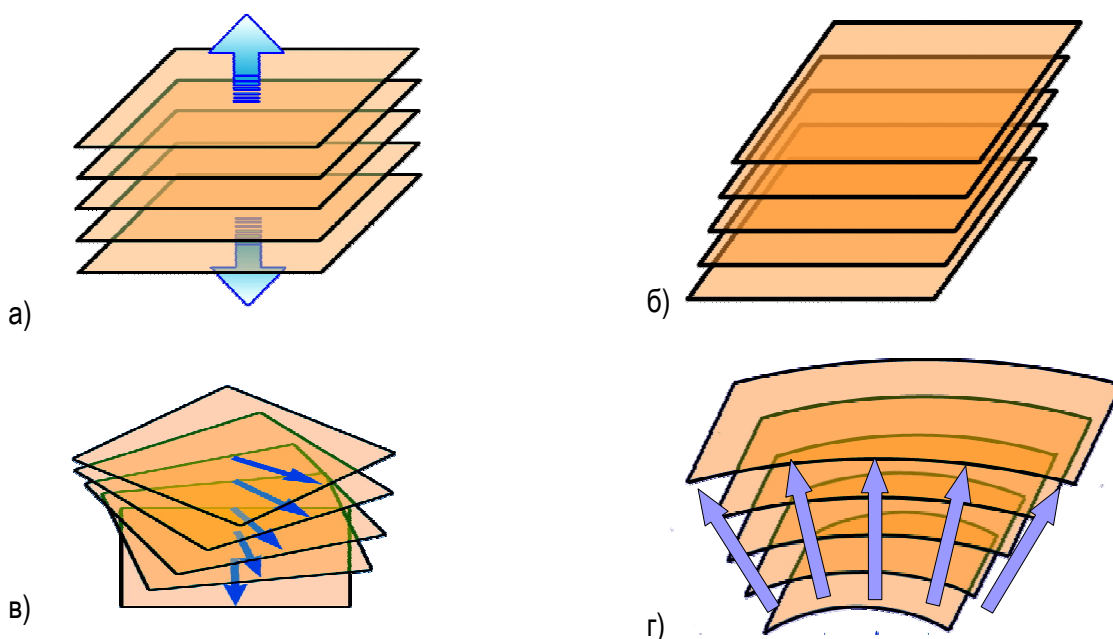


Рис. 2. Деформации кристалла: а) сжатие-растяжение, б) сдвиг в) кручение г) изгиб

Какое отношение все это имеет к проблеме магнитоэлектричества?

Представим себе, что вместо изгиба самого кристалла, мы «изогнули» направления магнитных стрелок в нем, таким образом, что они образовали спираль как на рис.2 г. Такая магнитная спираль подобна взведенной пружине. Изгибная деформация здесь присутствует не явно, а скрыта в магнитном порядке, получается *флексомангнитоэлектричество*, еще один термин-химера. Заметим, что существует также другой вид магнитных спиралей, которые в симметричном отношении аналогичны деформации кручения (рис. 2 в), в них поляризации, как и в скрученном кристалле, нет.

«Электроиглоукалывание» магнитных доменов

Вращение магнитных стрелок атомов при переходе от атома к атому в кристалле может возникать не только в спиральных мультиферроиках, но и в любом магнитном веществе, которому свойственно разбиваться на домены. Границы между ними – доменные стенки – представляют собой области, в которых векторы-магнитные стрелки плавно разворачиваются от направления в одном домене к направлению в другом, т.е. доменные границы представляют собой своего рода фрагмент магнитных спиралей. Причем в зависимости от типа разворота они классифицируются как стенки Блоха (скрученное распределение магнитных стрелок, рис. 2в) и стенки Нееля (изгиб в распределении стрелок, рис. 2г). Поскольку с изгибом связана электрическая поляризация, то появляется возможность управлять

магнетизмом на микроуровне с помощью электрического поля. Причем, что важно для практических приложений, эти эффекты должны наблюдаться в тех же условиях, в которых наблюдаются домены и стенки между ними, а значит и *при комнатных температурах*.

Наличие электрической поляризации магнитных доменных границ было предсказано еще в 1983 году В.Г. Барьяхтаром. Вплоть до последнего времени все эти предсказания оставались неподтвержденными экспериментально. 10 лет назад мы начали поиски этого явления в нашей лаборатории. Мы рассуждали так: если эффект до сих пор не заметили, он не должен быть проявляться в обычных электрических полях, с которыми мы имеем дело. Нужно создать очень сильное электрическое поле, как возникает на кончике громоотвода во время грозы. Поэтому мы использовали вместо электрода заостренную медную проволоку, вроде той, что подходит к динамикам в наушниках для сотовых телефонов, только лучше выбирать самые тонкие ее сорта, диаметром 10 микрон, что в пять раз тоньше волоса. Приложив напряжение в несколько сот вольт между такой иглой и другой стороной магнита можно получать огромную напряженность поля на кончике иглы – вплоть до мегавольта на сантиметр. Только для того чтобы не было электрического пробоя магнит должен быть из хорошего диэлектрического материала. Кроме того в нем должны быть видны домены. Вот почему мы выбрали пленки феррита-граната – стеклышки оранжевого цвета, с хорошо видной на просвет доменной структурой (конечно, невооруженным глазом ее не видно, нужен микроскоп). В результате мы действительно наблюдали передвижение магнитных доменных границ под действием электрического поля (рис.3). Если сделать на поверхности материала зарубки, чтобы границы застыли в новых положениях, то на таком принципе можно построить элемент памяти: доменная граница под действием электрического поля может перемещаться от одной зарубки «0» к другой «1».

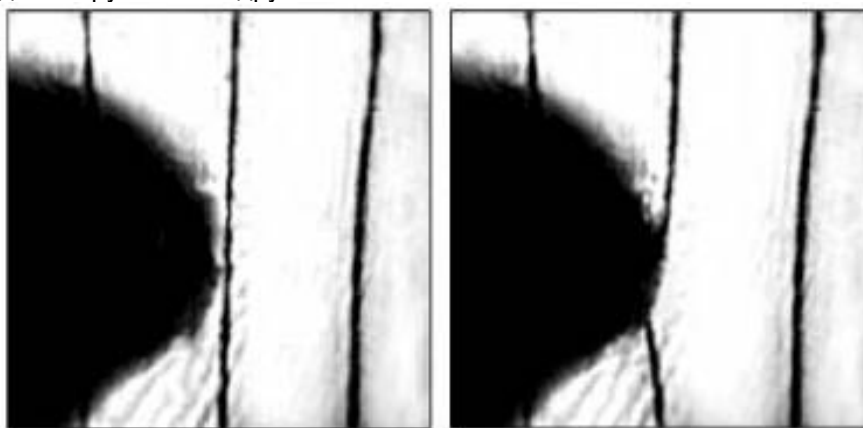


Рис. 3 Опыты с электрическими свойствами доменных границ: кончик заряженной иглы (черный полукруг слева) касается поверхности образца в месте расположения одной из доменных границ (вертикальные линии, идущие вертикально). а) первоначальное расположение доменных границ, б) притяжение одной из границ к игле, при подаче на нее электрического напряжения.

Магнитоэлектрические композиты

Наконец, есть и еще один способ создать магнитоэлектрические материалы. Примерно так, как воображение древних греков создало химеру: механически пристыковав часть одного животного к другому. Для этого нужно приклеить магнит к сегнетоэлектрику и получится *композиционный материал*.

Идея композиционного материала (или композита) состоит в том, что два вещества, соединенные вместе, создают материал с новыми свойствами, не присущими каждой из компонент в отдельности. Например, сэндвич панели – слой пенопласта, зажатый между двумя стальными листами – сочетают теплоизоляционные и прочностные характеристики.

Первые попытки создать магнитоэлектрические композиты были предприняты в 70-х годах прошлого столетия. Это были смеси двух порошков: первый, *магнитострикционный*, его частички деформировались под действием магнитного поля; второй представлял собой *пьезокерамику*, электрически поляризующуюся при деформации. Если такую смесь помещали в магнитное поле, то частицы магнитострикционного материала, деформируясь, механически воздействовали на соседние частицы пьезо-

электрического материала, а те электрически поляризовались, порождая разность потенциалов на границах композита. Получалось своего рода произведение эффектов:

«магнито-упругий» $\times$ «упруго-электрический» = *магнитоэлектрический*

Идея была замечательная, но качество таких композитов было невысоким, также как и величина наблюдавшихся в них эффектов. Это происходило потому, что невозможно было надежно контролировать химический состав и микроструктуру таких *объемных композитов*: частицы перемешивались, иногда образуя комки и сгустки, как в манной каше. В результате величины эффектов менялись от образца к образцу, а слияние частичек магнитоэлектрического материала в проводящие каналы (рис. 4 а) приводило к «короткому замыканию» образца, сводя на нет получавшийся на нем электрический сигнал.

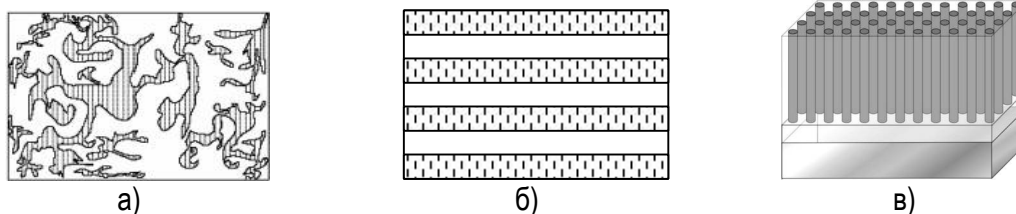


Рис 4. Композитные материалы а) объемные б) слоистые в) столбчатые

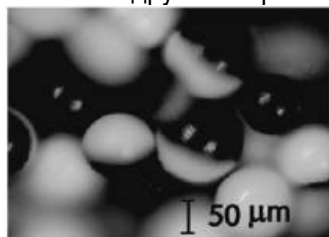
Неудача с первыми композитами привела исследователей к идее *слоистых композитов*, которые, подобно слоеному пирогу, состояли из чередующихся слоев магнитоэлектрического материала и пьезоэлектрического (рис. 4 б), склеенных вместе (в первых опытах для этой цели использовался обыкновенный эпоксидный клей). Такое четкое разделение слоев позволило лучше контролировать химический состав (слои готовятся отдельно), также исключалась возможность образования проводящих каналов в вертикальном направлении. Получившиеся значения магнитоэлектрического эффекта превосходили все ожидания: магнитное поле порядка земного создавало в материале электрическое поле в 50 раз большее, чем в хромите. Удавалось даже измерять магнитные поля, в сто тысяч раз меньшие поля Земли – такие создает наше сердце, перегоняя кровь по сосудам. У нас в стране магнитоэлектрическими композитами успешно занимаются группы Ю.К. Фетисова из Института Информатики МИРЭА в Москве и М.И. Бичурина из Великого Новгорода.

Нанотехнологический век диктует свои стандарты: клей на эпоксидной смоле, конечно, хорош, но лучше, если структуры будут расти сами, осаждаясь атом за атомом на подложке (такой рост называется эпитаксиальным). Первые попытки создать такие структуры были предприняты в 1994 году, но они дали обескураживающие результаты: величины магнитоэлектрических эффектов были незначительны в сравнении с многослойными структурами, приготовленными с помощью старой доброй эпоксидки. Причиной тому служило жесткое сцепление слоев с подложкой, на которую осаждалась пленка, что делало невозможными деформации в плоскости, а значит, и деформации в перпендикулярном направлении, напрямую связанные с ними.

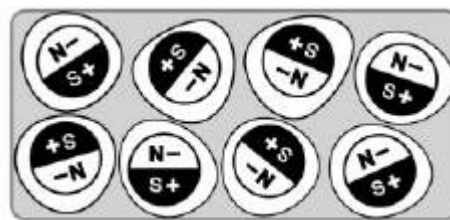
Решение этой проблемы было найдено спустя десять лет – были созданы *столбчатые наноструктуры*, в которых связь с подложкой уже не препятствовала растяжению/сжатию столбцов в вертикальном направлении (рис. 4 в). Самое интересное, что эти столбики не нужно формировать специально, они организуются сами при одновременном осаждении на подложку двух веществ: пьезоэлектрического (например, титаната бария BaTiO_3) и магнитоэлектрического (например, шпинели CoFe_2O_4). Как правило, одно из них не смачивает подложку, собираясь в капли, которые потом вырастают в столбики, а другое – смачивает подложку и становится *матрицей*, которой эти столбики окружены со всех сторон.

Только в последние годы с появлением так называемой «электронной бумаги» удалось реализовать предложенную в середине прошлого века идею американского инженера Бернарда Теллегена, о сцепленных друг с другом частичках, вращающихся в жидкости. Электронная бумага, или гирикон (от греческого «вращающееся изображение») представляет собой полимерную среду, в которую внедрены двцветные сферические частицы из полиэтилена, свободно вращающиеся внутри полостей с жидкостью (рис. 5). Две полусферы частицы отличаются не только цветом, но и электрическим зарядом – темная сторона заряжена положительно. Это позволяет ориентировать частицы с помощью электри-

ческого поля. Именно так на белом листе электронной бумаги появляются черные буквы – частички поворачиваются другой стороной.



а)



б)

Рис. 5 а) микрофотография гирикона: полимера с внедренными, черно-белыми сферическими частицами б) схематическое изображение магнитоэлектрического композита на основе гирикона: частицы-диполи свободно вращаются в микрополостях с жидкостью. +/- электрические, S,N – магнитные полюса.

Ученые А. Гош, Н.К. Шеридон и П. Фишер предложили добавить к свойствам электронной бумаги еще одно свойство – магнитное, путем введения в материал частиц магнитных примесей. Так среда приобретала эффективные магнитоэлектрические свойства: теперь подачей электрического напряжения можно было управлять намагниченностью гирикона, не расходуя энергию на электрические токи.

К сожалению, частицы очень неповоротливы: на вращение уходит время порядка секунды, так что о быстродействующих устройствах на гириконе говорить не приходится. В этом смысле более удачной оказалась идея «омагнитить» не электронную бумагу, а главную составляющую другого типа дисплеев – жидкие кристаллы.

Жидкие кристаллы – название само по себе парадоксальное. Долгое время считалось, что кристаллический тип упорядочения присущ только твердым телам. Но нет правила без исключения: как есть твердые жидкости – стекла, так и есть жидкие кристаллы. Они совмещают в себе упорядочение, характерное для твердых тел, с возможностью легко изменять форму, присущую жидкостям. К примеру, в жидких кристаллах нематиках (от греческого слова «нить») продолговатые молекулы располагаются вдоль одного направления как в кристалле, но имеют свободу перемещения как в жидкости (рис. 6 а). Жидкокристаллические мониторы работают благодаря свойству молекул нематика поляризоваться в электрическом поле и ориентироваться вдоль него (рис 6 б), при этом меняется цвет жидкокристаллической ячейки (в простейшей версии жидкокристаллических дисплеев с серебристого на черный). Ученым из Тайваньского Университета Цунг-Джу Лину (Tsung Ju Lin) с коллегами пришла идея размещать магнитные наностержни (диаметром 6 нм и длиной 50 нм) в жидком кристалле. При этом стержни ориентировались вдоль направления молекул жидкого кристалла и поворачивались вместе с ними (рис. 6). Таким образом, удалось получить магнитный материал, управляемый с помощью электрического поля. Причем магнитный жидкий кристалл гораздо живее откликался на изменение электрического поля, чем частицы гирикона – частота переключения составляла килогерцы.

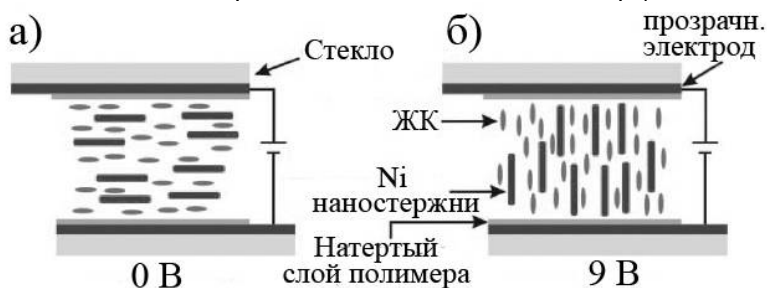


Рис. 6. Жидкий кристалл с магнитными включениями в виде наностержней. а) ориентация молекул жидкого кристалла и наностержней в отсутствие поля б) ориентация молекул и наностержней при включении электрического поля.

Идею композитного материала можно реализовать гораздо проще, чем это описано выше, не используя высокие технологии или специальные дорогие материалы. Для этого потребуется два магнита, вроде тех, что используются на досках для маркеров или в магнитных «липучках» чехлов для мобиль-

ных телефонов (если хотите получить более сильный эффект, то лучше брать магниты из жестких дисков), двусторонний скотч и пьезоэлемент, который можно купить в магазине радиодеталей за 100 рублей (мы использовали пьезозвонок ЗП-1 0504).

Верх и низ пьезоэлемента оклеиваются двусторонним скотчем, к внешним сторонам которого приклеиваются два магнита. Нижний магнит закрепляется неподвижно на подложке. Такая структура может работать как электрический датчик магнитного поля.

При внесении структуры в магнитное поле, один из магнитов (подвижный) незначительно смещается, в результате чего изначальное сжатие пьезоэлектрика увеличивается или уменьшается в зависимости от полярности магнита, создающего внешнее поле, а это приводит к изменению выходного напряжения.

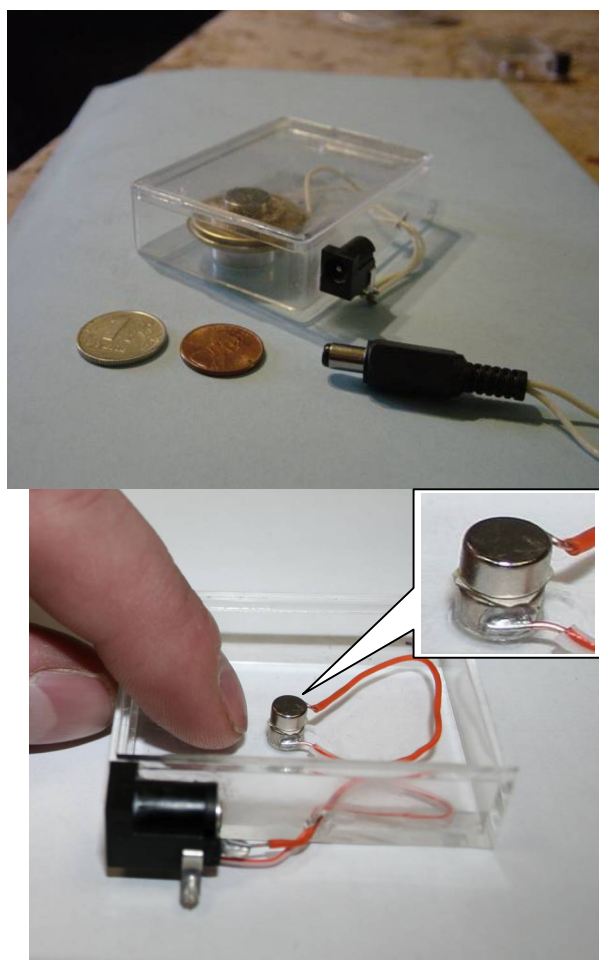


Рис. 7. Датчик магнитного поля а) модель на основе стандартного пьезозвонка б) миниатюрная версия, на основе слоя пьезоэлектрика.

Справедливости ради надо признать, что простота устройства датчика обманчива, поскольку, хотя электрический сигнал и появляется на контактах пьезодатчика, его не так уж легко снять. Дело в том, что при измерениях обычным вольтметром пьезоэлемент, подобно конденсатору, разряжается через вольтметр, который имеет хотя и высокое (10 МОм), но все же конечное сопротивление. Разряд происходит меньше чем за сотую секунды, что делает невозможным измерение постоянного магнитного поля. Поэтому снимать сигнал с пьезодатчика нужно либо с помощью специального электростатического вольтметра, само устройство которого исключает протекание каких-либо токов, либо создав буферную схему с очень высоким сопротивлением.

Возможные практические применения магнитоэлектриков

Наличие больших магнитоэлектрических эффектов в материалах позволяет говорить о возможности их использования в различных электронных устройствах. Еще в 1965 году американским ученым О'Деллом была предложена память на магнитоэлектрических доменах. В качестве битов информации в таких материалах могут выступать антиферромагнитные домены. Они не создают полей размагничивания, но, являясь одновременно и магнитоэлектрическими доменами, поляризуются под действием внешнего магнитного поля (рис. 8).

Существенным ограничением такой памяти является сложность процесса записи: нагревание выше температуры исчезновения антиферромагнитных свойств (точки Нееля) и охлаждение в присутствии магнитного и электрических полей до температуры ниже точки Нееля. В то же время, магнитоэлектрики могут служить основой для постоянных запоминающих устройств без возможности перезаписи (ROM – read only memory) с чрезвычайно большим быстродействием: магнитоэлектрический коэффициент остается постоянным вплоть до сотни гигагерц – частоты антиферромагнитного резонанса.

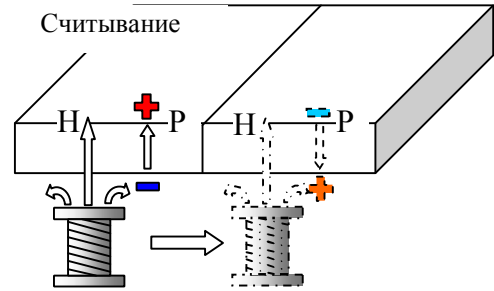


Рис. 8
Процесс считывания информации в виде МЭ доменов противоположной полярности

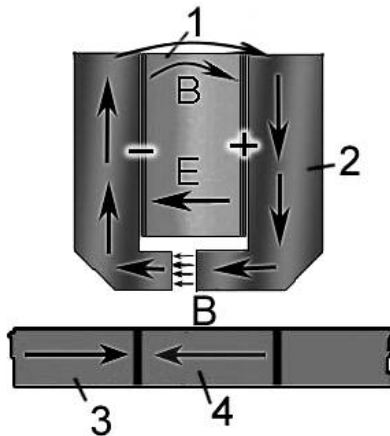


Рис. 9.

Головка записи на основе емкостного МЭ элемента:

1) магнитоэлектрический слой между обкладками, на которые подано электрическое напряжение 2) магнитовол 3, 4) домены с противоположной ориентацией намагниченности, соответствующие «0» и «1» (битам информации).

Другим применением магнитоэлектрических эффектов могут служить головки записи/считывания. Дальнейшее уплотнение плотности записи информации требует уменьшения размеров битов, вплоть до критического размера, ниже которого биты могут спонтанно перемагничиваться из-за термических флуктуаций (это явление получило название *суперпарамагнитного предела*). Преодоление суперпарамагнитного предела возможно с использованием сред с большой коэрцитивной силой. Такие среды требуют больших магнитных полей для записи информации, что означает увеличение тока в катушках записи и, следовательно, увеличение омических потерь и потерь на вихревые токи.

Замена традиционно используемых индуктивных головок (рис.8) на емкостные магнитоэлектрические элементы (рис.9) позволит уменьшить размер головок записи и потери в них. Приложение электрического напряжения к конденсатору, в котором диэлектрическим слоем является магнитоэлектрический материал, приводит к возникновению магнитного поля, достаточного для записи бита информации (рис.9).

Особого интереса заслуживают перспективы применения магнитоэлектриков в спиновой электронике. Магнитоэлектрические материалы предлагают совершенно иное, бестоковое решение проблемы преобразования информации в форме намагниченности в электрическое напряжение. В настоящее время в качестве памяти нового поколения энергонезависимого типа предлагаются различные виды *магнитной памяти произвольного доступа* (MRAM, Magnetic random access memory, рис. 10).

В узле расположен туннельный контакт – устройство, основанное на гигантском магнитосопротивлении, объединяющее в себе и среду записи (перемангничиваемый слой) и устройство считывания информации (контакт, сопротивление которого зависит от состояния намагниченности в слое записи). Доступ к каждому элементу памяти осуществляется подачей токов записи/считывания на соответствующие битовую и разрядную шины.

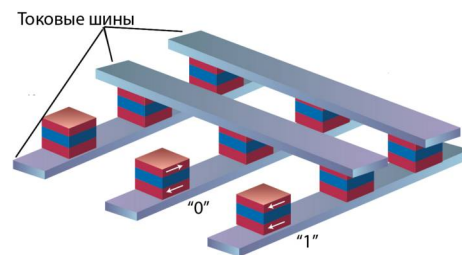


Рис. 10. Магнитная память произвольного доступа

В месте пересечения которых находится данный бит информации. Управление намагниченностью в битах основано на токовых сигналах, поэтому нельзя говорить, что проблема уменьшения энергетических потерь решена полностью. Более того, по мере увеличения степени интеграции устройств, становится все труднее создать конфигурацию подводящих проводов, изменяющих направление намагниченности в отдельном узле и не влияющих на соседние. Кроме того, при миниатюризации заметным становится явление электромиграции ионов металла при протекании электрического тока большой плотности – атомы кристаллической решетки металла уносятся потоком электронов.

Все эти проблемы позволят решить запись информации на основе магнитоэлектрического эффекта. Если в каждом узле MRAM памяти разместить МЭ элемент, то приложение электрического напряжения к узлу, в котором находится данный бит, позволит изменять направление намагниченности в бите, не воздействуя на соседние узлы. Так как в МЭ элементе магнитное поле возникает под действием статического электрического поля, а не тока, это позволяет также избежать дополнительных энергетических потерь.

В основе использования магнитоэлектрических материалов в СВЧ приборах лежит идея управления частотой магнитного резонанса. Магнитоэлектрический материал помещается в поле постоянного магнита так, чтобы частота его антиферромагнитного резонанса была близка к частоте используемого СВЧ излучения. Приложением электрического напряжения можно вызывать небольшие изменения магнитного поля, в котором находится МЭ материал, и тем самым, сдвигать частоту магнитного резонанса, что приводит к значительным изменениям в поглощаемой мощности СВЧ излучения.

Заключение

Проблема взаимосвязи магнитных и электрических явлений в твердом теле чрезвычайно многогранна, и в этой лекции я показал лишь некоторые ее стороны. Данная область науки активно развивается в наше время: остается еще множество вопросов, требующих ответа, а неизвестные эффекты ждут своих первооткрывателей.

Литература

1. Пятаков А.П., Звездин А.К. Магнит чувствует электрическое поле // Химия и жизнь - XXI век. 2013. № 5. С. 3-7.
2. Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А., Сринивасан Г., Нан С.В. Магнитоэлектрические материалы. Издательство «Академия Естествознания», 2006.
3. Пятаков А.П., Григал П.П. Лаборатория на коленке // Библиотечка «Квант». Выпуск 112. М., 2009.

Симпозиум 3.

Математика и информационные технологии

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОПТОВОЛОКОННЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

ДИМИТРИЕНКО Юрий Иванович

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика», директор Научно-образовательного центра "Суперкомпьютерные инженерные технологии и разработка программных комплексов" Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

ГУБАРЕВА Елена Александровна

кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика», старший научный сотрудник Научно-образовательного центра "Суперкомпьютерные инженерные технологии и разработка программных комплексов", Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

В связи с бурным развитием информационных технологий возникла проблема совершенствования, и в ряде случаев, пересмотра традиционных образовательных технологий обучения математическим дисциплинам, обеспечивающим фундамент компьютерных наук, а также преподавания самих дисциплин в области компьютерных наук. Традиционные технологии обучения математическим дисциплинам естественно-научного цикла подготовки в классических и технических университетах построены на принципах абстрактного мышления, при котором студенты получают знания посредством, главным образом, слухового восприятия информации, визуального восприятия ее формульной записи и абстрактного мыслительного процесса систематизации полученной информации и пополнения личной "базы знаний" в индивидуальном сознании. Такой способ обучения обеспечивает относительно медленное консервативное усваивание математических знаний основной массой студентов, особенно технических университетов, и заметно проигрывает по темпам обучения в сравнении с обучением в других областях человеческой деятельности, прежде всего, связанной с прикладной информатикой - компьютерными играми. Основное отличие этих двух сравниваемых областей, с точки зрения причин различных темпов обучения, содержится в различной мотивации получения знаний.

Основная идея развиваемых новых образовательных технологий для студентов, обучающихся в МГТУ им. Н.Э. Баумана по направлениям бакалавриата "Математика и компьютерные науки" (02.03.01), магистратуры "Математика и компьютерные науки" (02.04.01), а также аспирантуры по специальности "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" (05.13.18), состоит в повышении мотивации к процессу обучения с помощью:

- применения специализированных математических мультимедийных технологий, реализующих геометрическое и компьютерное представление абстрактных математических объектов, понятий, алгоритмов и следствий от их использования;
- вовлечении студентов на относительно ранних этапах, уже на 2-3 курсах к научно-исследовательской деятельности, связанной с выполнением конкретных прикладных задач в области инженерного математического моделирования [1].

В докладе излагаются некоторые примеры практической реализации инновационных технологий в области вычислительной математики и компьютерных наук для решения прикладных инженерных задач. Демонстрируется опыт использования оригинальных программных технологий, разработанных на кафедре "Вычислительная математика и математическая физика" (ФН-11), в том числе пример визуализации математических понятий, таких как ТЕНЗОРЫ и ТЕНЗОРНЫЕ ПОЛЯ [1], который студенты

изучают в математических курсах "Дифференциальная геометрия и основы тензорного анализа", "Линейная алгебра", а также в таких дисциплинах как "Механика сплошной среды", "Геометрическое моделирование", "Компьютерная геометрия", "Численные методы" и других. Демонстрируется пример работы студентов в программном пакете TensorView, разработанном на кафедре, и предназначенном для визуализации основных математических операций с тензорами (рис.1).

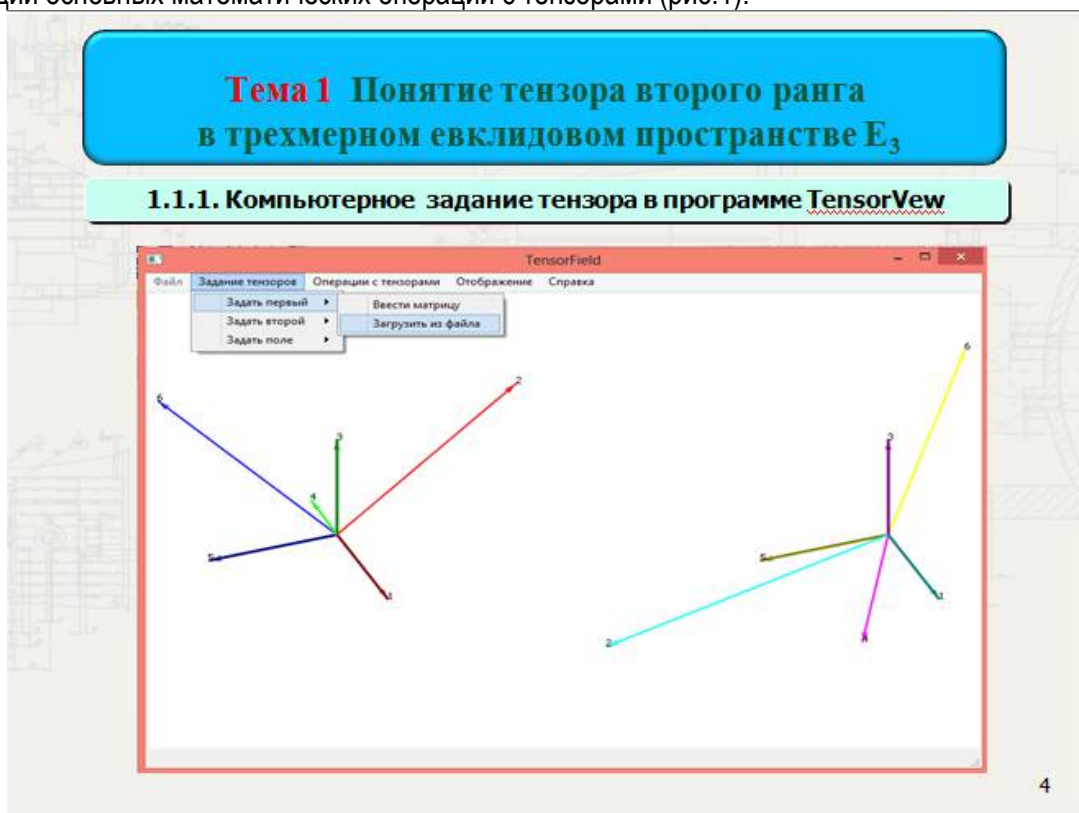


Рис. 1. Окно программного модуля TensorView

Участие студентов кафедры ФН-11 в научно-исследовательской деятельности осуществляется в рамках курсовых работ, выпускных и дипломных работ, тематика которых связана с научной деятельностью кафедры ФН-11 и Научно-образовательного центра "Суперкомпьютерные инженерные технологии и разработка программных комплексов" (НОЦ "Симплекс") МГТУ им.Н.Э.Баумана, который создан на базе кафедры.

Основными такими научными направлениями деятельности кафедры ФН-11 и НОЦ "СИМПЛЕКС" являются:

- математическое и компьютерное моделирование в области композитов, новых материалов и наноструктур;
- многомасштабное моделирование материалов и инженерных конструкций;
- разработка программного обеспечения для геометрического 3D моделирования, генерации адаптивных сеток, визуализации геометрических объектов;
- численное моделирование в аэрогазодинамике;
- параллельные вычисления и суперкомпьютерное моделирование;
- обработка больших массивов данных сейсморазведки и дистанционного зондирования полезных ископаемых;
- математическое моделирование в экономике.

Представлены примеры участия студентов кафедры ФН-11 в научно-исследовательской деятельности Научно-образовательного центра "Суперкомпьютерные инженерные технологии и разработка программных комплексов" (НОЦ "Симплекс") МГТУ им. Н.Э. Баумана. Рассказывается о примерах активного участия студентов в разработке программного обеспечения и выполнении работ в области прикладного математического моделирования, в частности, в области моделирования композиционных материалов, моделирования аэрогазодинамических процессов и других областях.



Рис. 2. Примеры результатов компьютерного моделирования композиционных материалов, полученных при активном участии студентов и аспирантов-выпускников кафедры ФН-11 [3]

Литература

1. Александров А.А., Димитриенко Ю.И. Математическое и компьютерное моделирование — основа современных инженерных наук. Математическое моделирование и численные методы. 2014. № 1. С. 3-4.
2. Димитриенко Ю.И. Тензорный анализ / Механика сплошной среды. Т.1. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. 463 с.
3. Димитриенко Ю.И., Федонюк Н.Н., Губарева Е.А., Сборщиков С.В., Прозоровский А.А., Ерасов В.С., Яковлев Н.О. Моделирование и разработка трехслойных композиционных материалов с сотовым наполнителем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. № 5. 2014. С. 66-82.

ОТ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ К ГОЛОГРАФИЧЕСКОМУ ТЕЛЕВИДЕНИЮ

ГУЩО Юрий Петрович,

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией наноэлектрооптики кафедры оптико-электронных приборов и систем
Институт электроники Московского технологического университета (МИРЭА)

КУЗНЕЦОВ Владимир Викторович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой оптико-электронных приборов и систем
Институт электроники Московского технологического университета (МИРЭА)

В последние годы в связи с бурным развитием прикладной оптоэлектроники, достижениями в области перезаписываемых и допускающих возможность стирания систем и производством все более мощных вычислительных средств многие крупные фирмы, производящие проекционные системы, пытаются осуществить давнюю мечту, реализованную у фантастов — полноценное цветное голографическое телевидение.

В данной статье мы остановимся на некоторых теоретических предпосылках и практических результатах, полученных в настоящее время. А также познакомим с теми разработками, которые ведутся в этом направлении в Московском технологическом университете (МИРЭА) в лаборатории наноэлектроники кафедры оптико-электронных приборов и систем Института электроники.

Прежде всего начнем с того, что голографическое телевидение основано на физическом эффекте интерференции волн, в качестве которых в данном случае выступает свет, с одной стороны, и записи на носитель не только информации об амплитуде, как при обычной фотосъемке, но и фазе световых колебаний. Рассмотрим этот момент несколько подробнее.

Световые волны характеризуются несколькими параметрами — это длина волны λ и круговая частота ω , которые определяют «цвет» ($\omega = 2\pi c/\lambda$, где c — скорость света), период колебаний T (связан с частотой — $T = 2\pi/\omega$), фаза волны φ , амплитуда A , направление распространения и поляризация. Общий вид изменения амплитуды гармонических колебаний в заданной точке пространства с течением времени можно упрощенно записать в виде: $A \cos(\omega t + \varphi)$.

Явление интерференции — это явление сложения двух и более волн, в результате которого происходит перераспределение энергии световой волны в пространстве. Для наглядности приведем несколько рисунков. На рис.1 изображено гармоническое колебание в некоторой точке пространства во времени с амплитудой A , периодом колебаний T и начальной фазой, равной $T/4$ (или $\pi/2$, если перейти к угловым координатам).

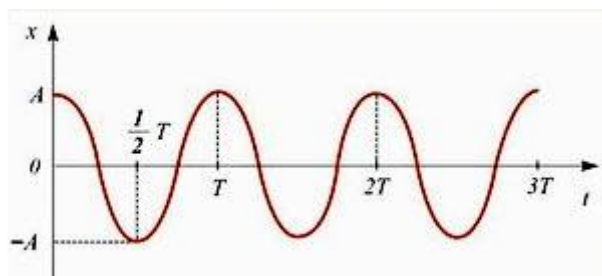


Рис. 1. Гармоническое колебание

При начальном рассмотрении процесса интерференции волн для упрощения будем считать, что сами волны у нас когерентны (получены от одного источника, характеризуются одинаковой частотой и постоянством разности фаз в заданной точке пространства), распространяются в одном направлении и имеют одинаковую поляризацию. При выполнении этих условий можно показать, каков будет результат интерференции (сложения) двух гармонических колебаний в зависимости от разности фаз между ними. На рис.2 показаны результаты сложения (сплошные линии) двух волн (пунктирные линии) с амплитудами A_1 и A_2 и разностями фаз, равными 0 ; π и $\pi/2$. Из рисунков видно, что результирующая амплитуда существенно зависит от разности фаз суммируемых колебаний. А также совершенно очевидно, что при одинаковых амплитудах $A_1 = A_2$ и разности фаз, равной π , результирующая амплитуда будет равна 0 . Это совершенно не означает, что «свет исчез». Так как мы рассматриваем сложение колебаний в плоскости (в данном случае в плоскости листа), то «исчезновение» колебаний в данной плоскости означает лишь то, что это колебание «вышло» за пределы рассматриваемой плоскости. Т.е. свет в результате интерференции изменил направление распространения.

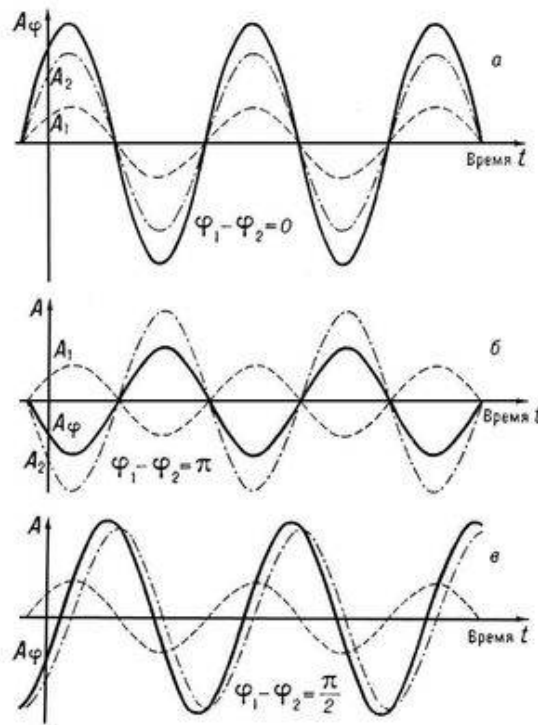


Рис. 2. Результат сложения двух колебаний с амплитудами A_1 и A_2 и разными разностями фаз: а - $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$; б - $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi$; в - $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi/2$.

Изменение направления распространения световых волн в результате интерференции вторичных волн лежит в основе работы дифракционной решетки.

Дифракция неразрывно связана с явлением интерференции. Более того, само явление дифракции зачастую трактуют, именно как случай интерференции ограниченных в пространстве волн (интерференция вторичных волн).

Общим свойством всех эффектов дифракции является зависимость степени ее проявления от соотношения между длиной волны λ и размером ширины волнового фронта d , либо непрозрачного экрана на пути его распространения, либо неоднородностей структуры самой волны.

Поскольку в большинстве случаев, имеющих практическое значение, ограничение ширины волнового фронта имеет место всегда, то и явление дифракции сопровождает любой процесс распространения волн.

На рисунках 3 и 4 показан принцип действия одномерной амплитудной дифракционной решетки (1-D дифракционные решетки).

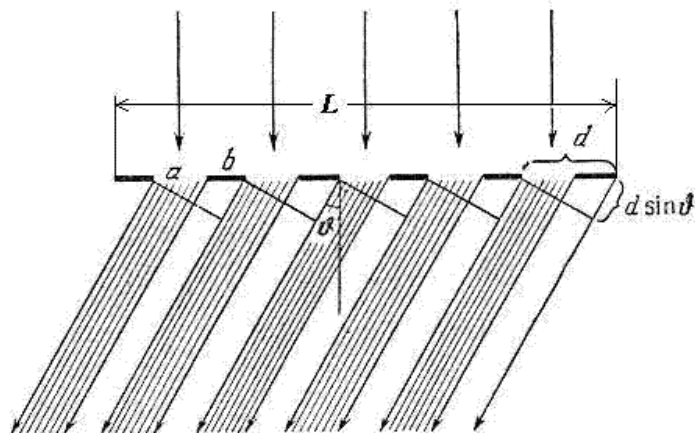


Рис.3. Простейшая одномерная амплитудная дифракционная решетка.

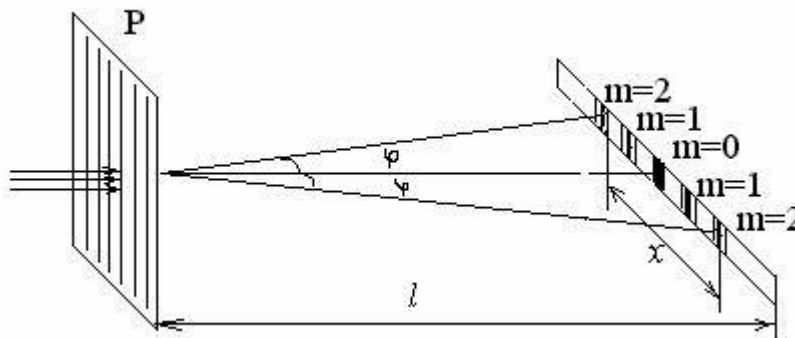


Рис.4. К понятию о порядках дифракции одномерной амплитудной дифракционной решетки.

Подробно на принципе работы одномерной амплитудной дифракционной решетки останавливаться не будем. Об этом можно прочитать в любом учебнике по оптике. Отметим лишь некоторые основные моменты.

Если осветить такую решетку монохроматическим пучком света с длиной волны λ , падающим по нормали к плоскости решетки, то в результате дифракции света на периодической структуре щелей будет образовано множество пучков света, выходящих под различными углами θ_p и соответствующих различным порядкам дифракции. Углы θ_p зависят от периода решетки и могут быть рассчитаны по упрощенной формуле:

$$\theta_p = p\lambda/d \text{ – в предположении малости углов,}$$

где $p = -1, +2, \dots$ – целые числа, d – период решетки.

Интенсивность света убывает с ростом абсолютной величины p . В случае, если ширина «штриха» (области, сквозь которую свет не проходит) и ширина щели одинаковы, то интенсивность светового потока, распространяющегося после щели под углом θ_p , можно описать приближенной формулой:

$$I(\theta_p) = 1/(2p+1)^2$$

Таким образом, с ростом порядка дифракции интенсивность отклоненного на соответствующий угол светового пучка убывает очень быстро.

Основным недостатком таких решеток является их низкая дифракционная эффективность в первом порядке (отношение энергии света в первом порядке дифракции к энергии падающего излучения) — порядка 10% из-за поглощения (или отражения) на непрозрачных участках.

В случае фазовой дифракционной решетки, показанной на рис.5, этот показатель примерно в 4 раза выше.

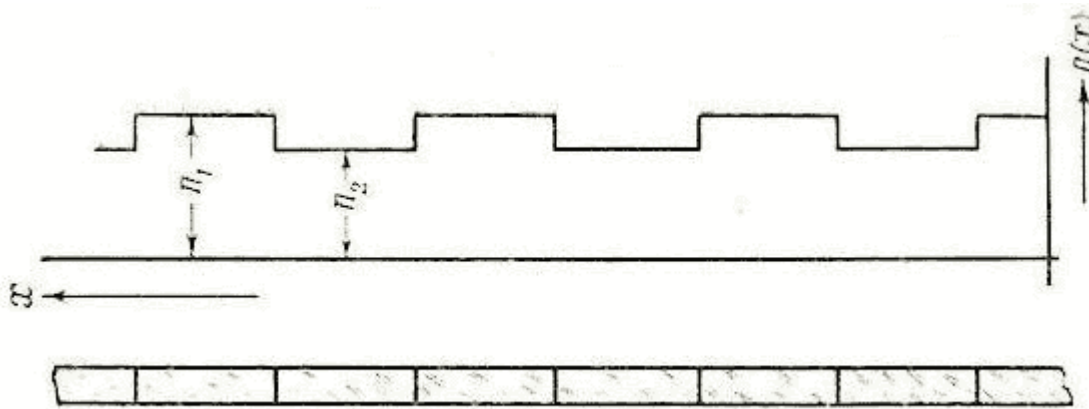


Рис.5. К понятию одномерной фазовой дифракционной решетки.

Работа такой решетки основана на интерференции световых волн, прошедших сквозь разные толщины оптически прозрачного материала. Как правило, разность фаз пучков, прошедших более толстый и более тонкий слои (с учетом показателя преломления материала) должна быть равна π . У таких фазовых решеток отсутствует «неиспользуемая» часть падающего излучения. Практически весь световой поток участвует в формировании дифракционных порядков.

Дифракционные решетки, аналогичные изображенным на рис.3 и рис.5, называются бинарными. В первом случае свет или полностью отражается/поглощается «штрихами» или пропускается щелями. Во втором случае на соседних участках набег фазы волны составляет или 0 или π .

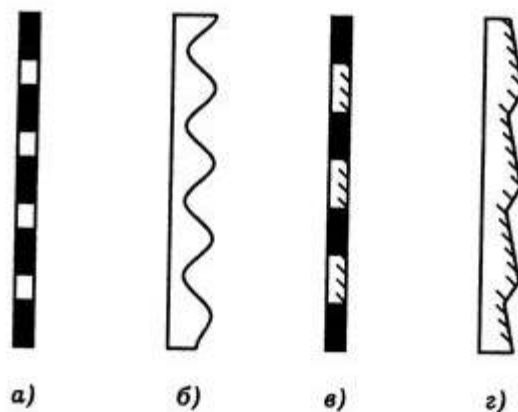


Рис.6. Основные виды одномерных дифракционных решеток: а и б соответственно амплитудная и фазовая решетки, работающие на просвет; в и г - амплитудная и фазовая решетки, работающие на отражение.

Следующим развитием дифракционных решеток становятся двумерные решетки (2-D дифракционные решетки), которые также могут быть как амплитудными, так и фазовыми. У таких решеток щели или «полоски» переменной толщины располагаются на поверхности, например, в виде концентрических колец постоянной или переменной высоты относительно общей поверхности. Примером подобной фазовой дифракционной решетки может служить поверхность записанного CD-диска.

С помощью сложных 2-D дифракционных решеток можно управлять распространением световых пучков в пространстве, что позволяет в том числе синтезировать в виде сложных фазовых дифракционных решеток различные оптические элементы и получать голографические изображения. Подробнее о дифракционных решетках и методах синтеза дифракционных оптических элементов можно прочитать в [4].

Основным недостатком обычных дифракционных решеток, препятствующим получению «движущегося» голографического изображения следует считать их статичность, то есть невозможность в реальном масштабе времени «изменять» свою конфигурацию.

Еще одной разновидностью дифракционных решеток является цифровое мультизеркальное устройство (Digital Micromirror Device или DMD), которое изобрел в 1987 году Dr. Larry J. Hornbeck. Это изобретение завершило десятилетние исследования Texas Instruments в области микромеханических деформируемых зеркальных устройств (Deformable Mirror Devices или снова DMD). Суть открытия состояла в отказе от гибких зеркал в пользу матрицы жестких зеркал, имеющих всего два устойчивых положения.

Из микроскопических зеркал (DMD-элементов) из алюминиевого сплава, обладающего очень высоким коэффициентом отражения, формируется матрица. Каждое зеркало крепится к жесткой подложке, которая через подвижные пластины соединяется с основанием матрицы. Под противоположными углами зеркал размещены электроды, соединенные с ячейками памяти CMOS SRAM. Под действием электрического поля подложка с зеркалом принимает одно из двух положений, отличающихся точно на 20° благодаря ограничителям, расположенным на основании матрицы.

Два этих положения соответствуют отражению поступающего светового потока соответственно в объектив и эффективный светопоглотитель, обеспечивающий надежный отвод тепла и минимальное отражение света.

На рис.7. изображена модель конструкции DMD-элементов, а на рис.8. фотографии DMD-чипов.

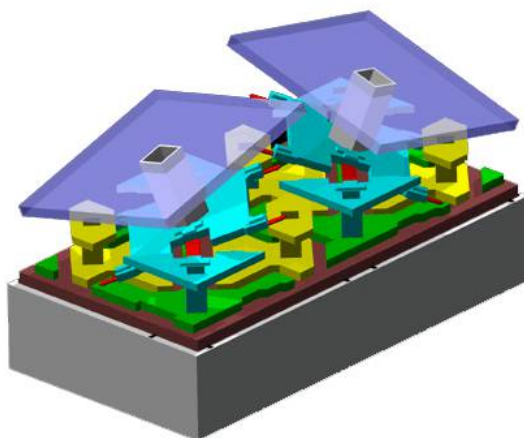


Рис. 7. Модель DMD-элементов

Шина данных и сама матрица сконструированы так, чтобы обеспечивать до 60 и более кадров изображения в секунду с разрешением 16 миллионов цветов. Матрица зеркал вместе с CMOS SRAM и составляют DMD-кристалл — основу технологии DLP.

Площадь каждого зеркала матрицы составляет 16 микрон и менее, а расстояние между зеркалами около 1 микрона. Кристалл, да и не один, легко помещается на ладони.



Рис.8. Фотографии DMD-чипов компании Texas Instruments.

Массовые продажи таких DMD-чипов начались в 1995 году.

Texas Instruments выпускали три вида кристаллов (или чипов) с различными разрешениями:

- SVGA: 848×600; 508 800 зеркал,
- XGA: 1024×768 с черной апертурой (межщелевым пространством); 786 432 зеркал,
- SXGA: 1280×1024; 1 310 720 зеркал.

На основе DMD-чипов уже выпускаются проекторы видеоизображений (пока еще не голографических), использующие одну или три матрицы (рис.9 и 10).



Рис.9. Схема работы одноматричного DLP-проектора.

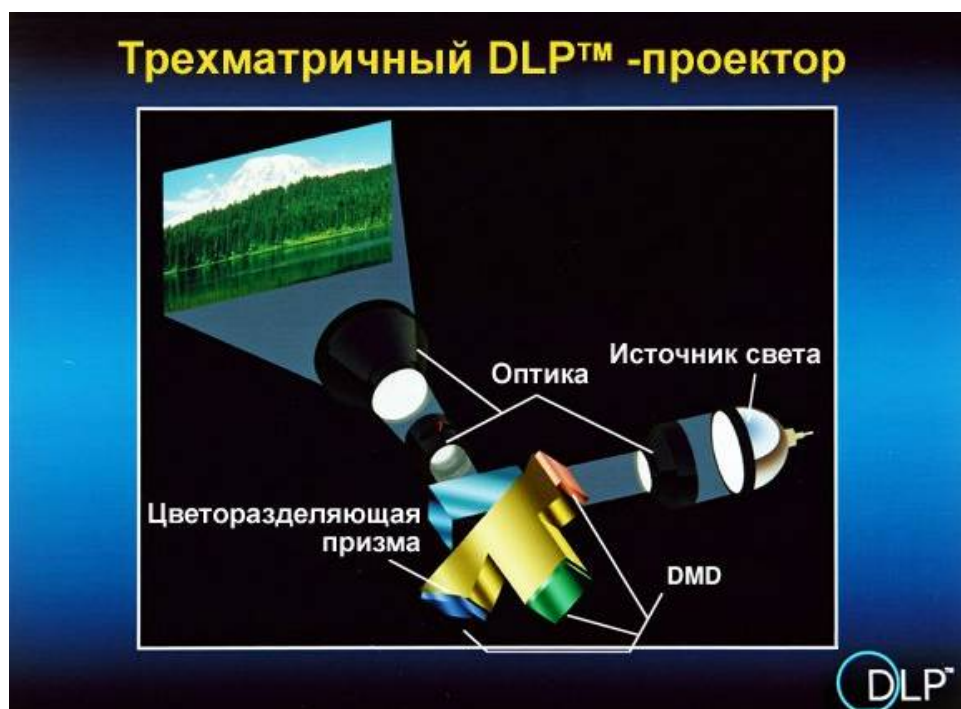


Рис.10. Схема работы трехматричного DLP-проектора.

В одноматричном проекторе между источником света и матрицей помещается вращающийся диск с цветными светофильтрами — синим, зеленым и красным. Частота вращения диска определяет привычную нам частоту кадров.

В трехматричном проекторе свет расщепляется на три цветовых потока и отражается сразу от трех матриц. Такой проектор имеет самый чистый цвет и частоту кадров, не ограниченную скоростью вращения диска, как у одноматричных проекторов.

Похожий вариант многоэлементного зеркала, работающего на принципе фазированной антенной решетки (ФАР), создали специалисты Массачусетского технологического института (MIT). впервые смогли создать оптическую фазированную антенную решетку (ФАР).

Принцип ФАР хорошо известен и используется в радиолокационных станциях, но специалистам MIT впервые удалось сделать аналогичную крупную оптическую антенну. Помимо всего прочего, оптическая ФАР позволит создавать голографические телевизоры, в которых объект можно будет рассматривать со всех сторон [6].

Используемые DMD-матрицы подобны управляемым 2-D дифракционным решеткам, но основным недостатком у них также, как и у простейших амплитудных решеток, является их относительно малая энергоэффективность (часть излучения бесполезно «уходит» в поглотитель).

А теперь достаточно кратко рассмотрим новую технологию электрооптического модулятора света Рельеф, который имеет уникальные параметры при низкой себестоимости и отличной конкурентноспособности на мировом рынке.

Рельефография – это результат 30-летних исследований группы российских ученых под руководством проф., д.т.н Юрия Петровича Гуцо. Она представляет новое направление в прикладной физике, тесно смыкающееся с нанотехнологией [1].

Результатом многолетних работ команды Юрия Петровича Гуцо стал сверхбыстродействующий электрооптический модулятор света «Рельеф» (Light modulator Relief — LMR).

По сравнению с известными модуляторами LMR обладает уникальной дифракционной эффективностью (98,6%), отсутствием движущихся частей, малым потреблением энергии, высоким быстродействием (до 500 кГц) и низкой стоимостью при массовом производстве.

В лаборатории созданы прототипы модулятора и лазерного ТВ-проектора на его основе, представленные на рис.11 и 12.

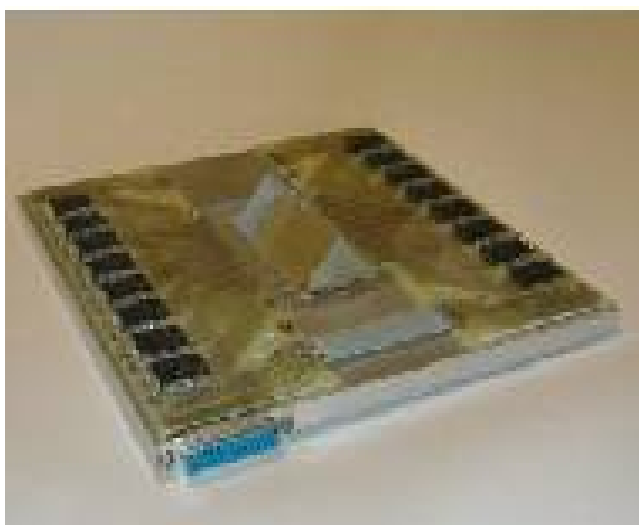


Рис.11 Прототип модулятора Рельеф-3



Рис.12. Прототип лазерного проектора на модуляторе Рельеф.

В создаваемых изделиях с использованием модулятора LMR можно управлять световым излучением от слабых и мощных лазерных и тепловых источников света. Благодаря оптически прозрачному диэлектрическому слою и фазовому характеру модуляции, свет, проходящий через слой, не поглощается, что и обеспечивает высокий КПД (98.6 %). При этом не требуется поляризация светового излучения.

Принцип действия LMR основан на создании нано-рельефа, полученного на поверхности прозрачного, тонкого диэлектрического слоя. Время записи и стирания такого рельефа составляет единицы микросекунд. Рельеф создается электрическими сигналами за счет возникновения пондеромоторных сил на поверхности диэлектрического слоя. Наноперемещения обеспечивают уникальное быстроедействие и безинерционность LMR при любых ускорениях. При этом потребление энергии LMR пренебрежимо мало.

Техническая реализация этой идеи выглядит следующим образом: на первой диэлектрической подложке нанесена структура электродов, на второй прозрачной аморфной диэлектрической подложке с тонким прозрачным проводящим слоем нанесён упруго-вязкий прозрачный слой с диэлектрической проницаемостью, совпадающей со второй прозрачной диэлектрической подложкой. LMR представляет собой сборку из двух упомянутых диэлектрических пластин с газовым зазором между ними.



Рис.13. Схема модулятора света «Рельеф» (LMR) и проекция лазерного изображения на экране размером 3х4 кв.м.

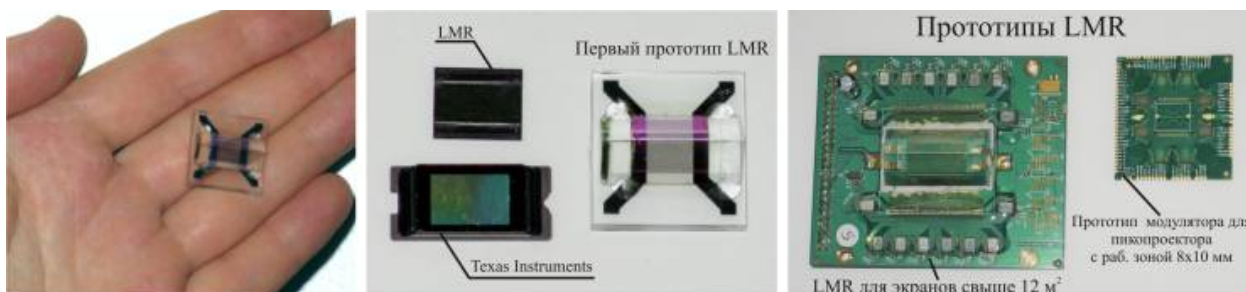


Рис.14. Варианты технической реализации модулятора LMR.

Характеристики LMR уникальны:

1. Экспериментальная дифракционная эффективность 98.6 %
2. Частота переключения сигнала до 500 кГц
3. Поглощение и рассеяние света носителем пренебрежимо мало
4. Рабочий диапазон температур от -5 до +80°C
5. Количество элементов в строке (пикселей) - 128...1024
6. Средняя интенсивность модулируемого излучения – 3,3 Вт/см²
7. Пиковая интенсивность модулируемого излучения – 105 Вт/см²

Перечислим некоторые ожидаемые изделия с применением модулятора LMR.

Мощный цветной лазерный проектор со световым потоком до 32 килолюмена (экран - 100 кв.м) со стандартами 1280x768, 1024 x768, 800x 600.

Лазерный цветной проектор со световым потоком до 15 килолюменов со стандартами 1024 x768, 800x 600.

Лазерный цветной проектор со световым потоком до 3 килолюменов со стандартами 1024 x768, 800x 600.

Экономичный цветной лазерный портативный проектор со световым потоком в 1 килолюмен с габаритными размерами до 120x80x25 мм³ со стандартами 1024 x768, 800x 600.

Лазерный пикопроектор, встроенный в телефон, мобильный гаджет и др. с габаритами до 20x20x6 мм³ со световым потоком до 40 лм. Пикопроектор предназначен также для формирования изображения на очках или шлеме с повышенным разрешением. Технология защищена 25 патентами, например, DK1244928; EP2293134; RU2080641; NO20053589; EA007586; JP2006512603.

На базе LMR можно изготовить экономичное, встроенное в шлем или в очки, портативное, навигационное устройство для различных применений.

Существует три типа проекторных систем:

1. Проекторная система “See-through” (“Видимый насквозь”). В такой системе проекционное изображение комбинируется с помощью полупрозрачной призмы или пластинки с изображением окружающего мира.

2. Проекторная система “See-around” (“Смотрю вокруг”). В такой системе проекционное изображение перекрывает часть изображения окружающего мира.

3. Проекторная система “Full-immersion” (“Полное погружение”). В такой системе наблюдатель видит только проекционное изображение.

Аналогичным образом можно использовать LMR в шлеме. Встроенный в шлем малогабаритный и энергосберегающий лазерный проектор, позволит создать стереоскопический эффект и улучшить восприятие изображения посредством системы поиска зрачка. В скафандрах удобнее всего использовать проекционную систему “See-around”. Возможны три варианта предоставления информации наблюдателю в скафандре:

а) Проецирование изображения непосредственно на стекло скафандра. Для достижения стереоскопического эффекта в скафандр встраиваются два лазерных проектора – слева и справа. В итоге наблюдатель видит необходимую информацию в форме эллиптического или сферического изображения.

б) Проецирование изображения непосредственно на экран, выполненный в виде полупрозрачной пластинки. В таком случае лазерный проектор встраивается либо слева, либо справа и проецирует изображение на экран.

в) Проецирование изображения на стекло скафандра с использованием вогнутого зеркала для повышения четкости изображения.

Рельефографический индивидуальный или возимый лидар в видимом и инфракрасном оптических диапазонах с функциями селектора по дальности и скорости с углом раскрытия от 1 до 120 градусов.

Габаритные размеры LMR могут быть масштабированы и зависти от уровня интеграции изделия и назначения. Для лазерных пикопроекторов диаметр рабочей зоны составляет 3-5 мм, а для лидарных систем может достигать 20 мм.

Особо важно подчеркнуть, что LMR принципиально не поглощает световую энергию, проходящую через него. Излучение только изменяет направление, практически без потери энергии.

При дальнейшем развитии технологии изготовления двумерных модуляторов такого типа возможно создание и высокоэффективного голографического телевидения.

Литература

1. Гуцко Ю.П. Физика рельефографии. Издание второе, переработанное. М.: ДИК, 1999.
2. Гуцко Ю.П. Семейство патентов: МС Рельеф-1 (1970) и Рельеф-2 (1990).
3. Гуцко Ю.П. МС Рельеф-3 (Декабрь 2002) RU 200135350 and PCT/RU03/00535.
4. Методы компьютерной оптики / под ред. В.А. Сойфера: Учеб. Для вузов. 2-е изд. испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
5. Технология DLP. URL: <http://www.ixbt.com/dvd/dlp.html>.

6. Голографическое телевидение : MIT совершил революцию в оптике. URL: <http://the-day-x.ru/golograficheskoe-televidenie-mit-sovershil-revolyuciyu-v-optike.html>

«МАРС-500» - ШАГ В БУДУЩЕЕ

ИВЧЕНКО Валерий Дмитриевич

*доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем
Института кибернетики
Московский технологический университет (МИРЭА)*

КУЗНЕЦОВ Александр Борисович

*ведущий инженер, кафедра автоматических систем Института кибер-
нетики
Московский технологический университет (МИРЭА)*

АРБУЗОВ Владимир Николаевич

*кандидат технических наук, доцент кафедры автоматических систем
Института кибернетики
Московский технологический университет (МИРЭА)*

Начало третьего тысячелетия отмечено возрастающим интересом мирового сообщества к Марсу, и это не случайно – по сравнению с большинством остальных планет солнечной системы условия на Марсе более пригодны для его освоения.

Отметим сходства и различия Земли и Марса. Длительность марсианских суток близка к земным. На Марсе, как и на Земле, есть смена времён года, хотя она и происходит почти в два раза дольше. У Марса есть атмосфера, правда ее плотность составляет всего 0,007 земной, однако она даёт некоторую защиту от солнечной и космической радиации. Недавние исследования американским исследовательскими зондами «Феникс» и «Кариосити» подтвердили наличие замёрзшей воды (информация из СМИ). В дополнение к этому недавно удалось выявить на Марсе зоны повышенного содержания метана, который обычно производят живые организмы и др.

Сила тяжести на Марсе примерно в 2,63 раза меньше, чем на Земле (0,38 g) и неизвестно, будут ли возникать проблемы, связанных с невесомостью. Температура поверхности Марса гораздо ниже земной. Максимальная отметка составляет +30 °C (в полдень, летом на экваторе), минимальная – -123 °C (зимой на полюсах). При этом температура приповерхностного слоя атмосферы – всегда ниже нуля.

В силу того, что Марс находится дальше от Солнца, количество достигающей его поверхности солнечной энергии примерно вдвое меньше, чем на Земле. Орбита Марса имеет больший эксцентриситет, что увеличивает годовые колебания температуры и количества солнечной энергии. Атмосферное давление на Марсе слишком мало, чтобы люди могли выжить без гермокастюмов и специально оборудованных помещениях. Марсианская атмосфера состоит в основном из углекислого газа (95 %). Поэтому, несмотря на её малую плотность, парциальное давление CO₂ на поверхности Марса в 52 раза больше чем на Земле, что, возможно, позволит поддерживать выращивать растения и др.

Условия на Марсе гораздо более пригодны для его освоения, чем условия на жаркой Венере и лишённой атмосферы Луне и астероидах. На Земле есть такие разведанные человеком места, в которых природные условия во многом похожи на марсианские. Атмосферное давление на высоте 34 668 метров – рекордная по высоте точка, которой достиг воздушный шар с командой на борту (май 1961 г. – примерно соответствует давлению на поверхности Марса. Крайне низкие температуры в Арктике и Антарктиде сравнимы даже с самыми низкими температурами на Марсе. Также на Земле есть пустыни, схожие по виду с марсианским ландшафтом.

Главные опасности, подстерегающие космонавтов во время полета к Марсу и нахождение на планете, следующие: - высокий уровень космической радиации; – сильные сезонные и суточные колебания температуры; - метеоритная опасность; - низкое атмосферное давление.

С 1960-х годов к Марсу для подробного изучения планеты с орбиты, определения характеристик атмосферы, изучения гравитационных полей, фотографирования поверхности и др. были направлены несколько автоматических межпланетных станций. Самые известные из них: Викинги, Маринеры, Марс (серия советских космических аппаратов), Марс Глобал Сервейор, марсоходы Соджонер (1997 год), Спирит и Опортьюнити (оба – с 2004 года и до сих пор) и др.

Первым космическим аппаратом, посетившим Марс и исследовавшим его с пролётной траектории, стал американский Маринер-4. Первым космическим аппаратом, совершившим мягкую посадку, стал советский космический аппарат Марс-3 в 1971 году. Первым аппаратом, успешно работавшим на поверхности Марса и передавшим фотографии марсианского ландшафта, стал американский Викинг-1 в 1976 году.

Несмотря на большой интерес к Марсу, ответ на главный вопрос о наличии жизни на планете до сих пор остается открытым – роботы пока не могут вынести окончательный вердикт, это под силу только человеку, для чего необходима пилотируемая миссия на Марс. Но прежде, чем это произойдет, необходимо ответить на ряд новых вопросов, которые ставит перед пилотируемой космонавтикой подобная межпланетная экспедиция – слишком уж велики её отличия от орбитального полета сравнительной продолжительности 1,5 – 2 года.

На часть таких вопросов позволил ответить российский проект «Марс-500», который входил в состав федеральной космической программы, и предполагающий проведение эксперимента по имитации пилотируемого полета на Красную планету, в котором был смоделирован ряд условий такой экспедиции. Он проводился Государственным научным центром Российской Федерации – Институтом медико-биологических проблем РАН под эгидой Роскосмоса и Российской академии наук.

Целью проекта являлось исследование системы «человек – окружающая среда» и получение экспериментальных данных о состоянии здоровья и работоспособности экипажа, длительно находящегося в условиях изоляции в герметично замкнутом пространстве ограниченного объема при моделировании основных особенностей марсианского полета (сверхдлительность, автономность, измененные условия коммуникации с Землей – задержка связи, лимитированность расходуемых ресурсов).

Среди задач проекта – определить, возможен ли такой полет с точки зрения психологии и физиологии (при допустимом уровне моделирования) и выработать определенные требования к реальному экспедиционному комплексу, который полетит на Марс.

В проект "Марс-500" входил ряд экспериментов, имитирующих те или иные аспекты данного полета, в частности управление марсоходом на имитаторе поверхности Марса.

Научными партнерами проекта являлись:

- Федеральное космическое агентство России,
- Российская академия наук,
- Европейское космическое агентство,
- Национальный аэрокосмический научно-исследовательский институт биомедицины США,
- Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королева,
- Центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина и др.

Директор проекта – член корреспондент РАН, д.м.н., космонавт исследователь, заместитель директора ГНЦ РФ ИМБП РАН по научной работе Морукوف Борис Владимирович.

Медико-технический эксперимент проводился в 3-х модулях – экспериментальных установках ЭУ-50, ЭУ-100, ЭУ-150 и ЭУ-250, общий вид который представлен на Рис.1.



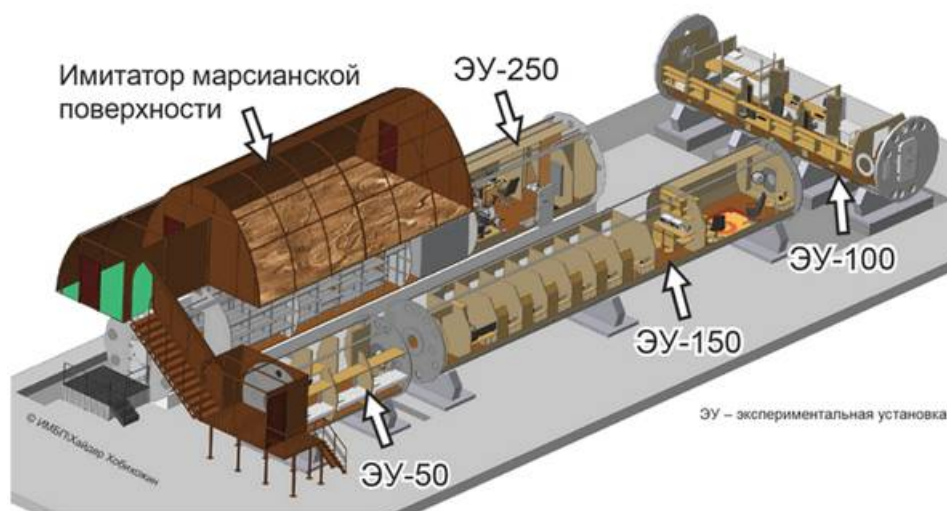


Рис.1.

Модуль ЭУ-50 общим объемом 50 м³, предназначен для имитации посадочного марсианского модуля с расчетом пребывания в нем 3 членов экипажа в течение 2-3 месяцев и включает в себя:

- жилой отсек, включая 3 спальных места и рабочую зону;
- кухню;
- санузел;
- два переходных шлюза с люками для перехода в модуль ЭУ-150 и в шлюзовую камеру имитатора марсианской поверхности;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

Модуль ЭУ-100 общим объемом 100 м³ предназначен для проведения медицинских и психологических экспериментов и включает в себя:

- жилой отсек, включая 2 спальных места и рабочую зону;
- кухню-столовую;
- санузел;
- рабочие места с размещенной на них медицинской аппаратурой;
- переходной шлюз с люками, соединенный с модулем ЭУ-150;
- герметичную дверь в торце модуля и аварийный люк в противоположном торце модуля;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

Модуль ЭУ-250 общим объемом 250 м³ предназначен для хранения продовольственных запасов, размещения экспериментальной оранжереи, одноразовой посуды, одежды и пр., включает в себя:

- холодильную камеру для хранения пищевых продуктов;
- хранилище со стеллажами для хранения продовольственных запасов, не требующих особых условий хранения, и одноразовой посуды и одежды;
- помещение экспериментальной оранжереи;
- тренажерный зал;
- шлюзовую камеру для удаления отходов;
- три герметичных двери – одна для соединения модуля со шлюзовым переходом в модуль ЭУ-150, две герметичных двери с металлическими лестницами в торцах модуля для предстартовой загрузки запаса продовольствия;
- системы обеспечения жизнедеятельности.

Фотографии медико-технического комплекса представлены на Рис.2 и 3.



Рис.2.



Рис.3.

На фотография Рис.4 и Рис.5 представлен международный экипаж, принимавший участие в эксперименте и скафандры для экипажа.



Рис.4.



Рис.5.

В рамках исследовательской программы «МАРС-500» ГНЦ РФ Института медико-биологических проблем РАН и Европейского космического агентства был разработан телеуправляемый робот-исследователь сухопутных территорий «ТУРИСТ» – прототип управляемого марсохода.

«ТУРИСТ» предназначен для расширения возможностей эксперимента по изучению возможностей человека при нахождении во враждебной окружающей среде (на другой планете) с использованием дистанционного управления сложной космической техникой.

В соответствии с техническим заданием (ТЗ) на разработку марсохода, робот-исследователь должен:

- перемещаться по грунту, имитирующему поверхность Марса;
- управляться дистанционно с визуализацией обстановки с помощью установленных на роботе видеокамер;
- имитировать измерение температуры, давления, влажности, газового состава атмосферы и т.п. на поверхности Марса;
- по радиоканалу передавать информацию на «борт спускаемого аппарата»;
- иметь управляемую дистанционно руку-робота (манипулятор), предназначенную для сбора образцов грунта, размещения на «поверхности» Марса приборов и их доставки на борт.

«ТУРИСТ» включает в себя подвижный модуль и систему управления (далее по тексту СУ). Питание марсохода осуществляется от встроенного аккумулятора, обеспечивающего непрерывную работу до двух часов, после чего требуется его подзарядка.

Марсоход состоит из трех основных частей:

- Шасси;
- Устройства управления (далее по тексту – УУ);
- Руки робота (далее по тексту – РР).

Внешний вид марсохода «ТУРИСТ» приведен на Рис.6.

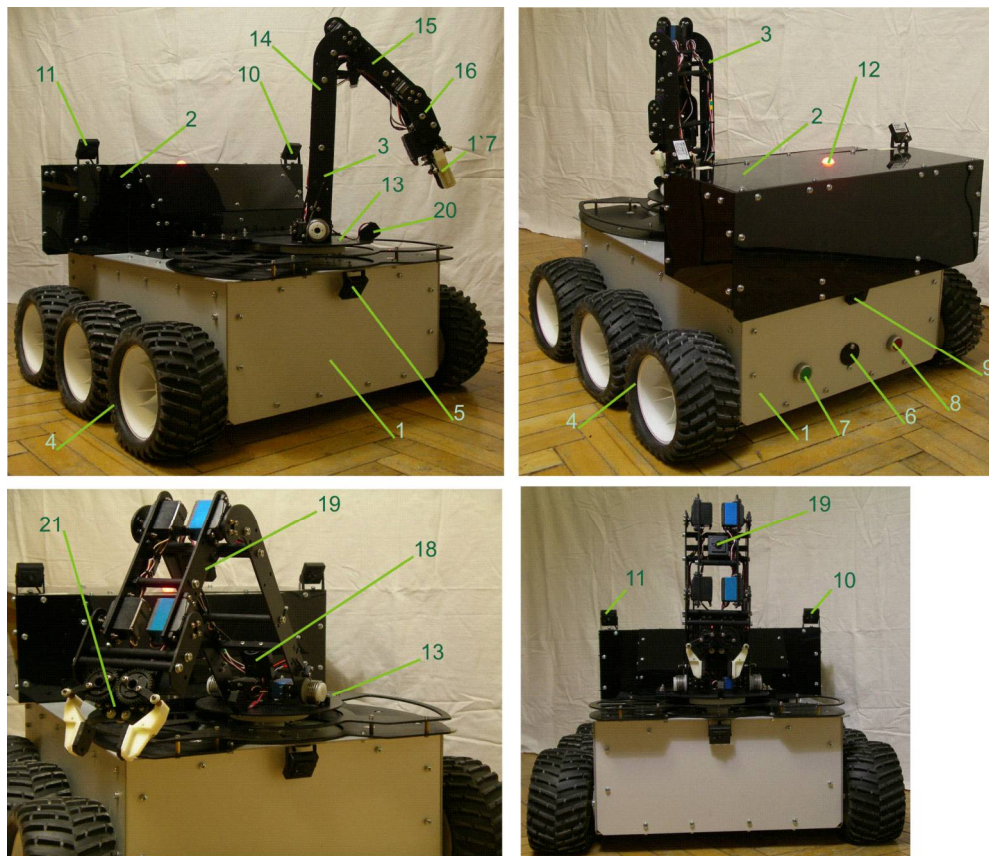


Рис.6. Внешний вид марсохода «ТУРИСТ»

На рисунке:

1. Шасси.
2. УУ.
3. РР.
4. Колеса.
5. Видеокамера ПЕРЕДНЯЯ.
6. Зарядный разъем с крышкой.
7. Кнопка зеленого цвета ВКЛ.
8. Кнопка красного цвета ОТКЛ.
9. Видеокамера ЗАДНЯЯ.
10. Видеокамера ЛЕВАЯ.
11. Видеокамера ПРАВАЯ.
12. Сигнальный фонарь ВКЛ.
13. Основание.
14. Плечо.
15. Локоть.
16. Кисть.
17. Пальцы.
18. Камера ВЕРХНЯЯ.
19. Камера ОБЗОРНАЯ.
20. Лазер ДАЛЬНОМЕР.
21. Лазер ПРИЦЕЛ.

СУ предназначена для дистанционного управления марсохода, с использованием:

- информации об окружающей марсоход обстановке, получаемой с помощью встроенных в робот видеокамер;
- дистанционного контроля основных параметров марсохода;

а так же для технологических операций (зарядки аккумуляторов марсохода. Питание СУ осуществляется от бытовой сети переменного тока.

СУ состоит из:

- ПК (типа «ноутбук») с блоком питания, настольным манипулятором типа «USB- мышь», установленным программным обеспечением (далее по тексту ПО) и преобразователем «USB-COM»;
- разветвителя USB на 4 выхода;
- радиомодема;
- приемника видеосигнала;
- устройства видеозахвата;
- зарядного устройства.

Программное обеспечение установленное на ПК, включает:

- операционную систему Windows XP или Windows 7;
- приложение Remote Rover Console (далее по тексту RRC);
- приложение Wireless Camera Watcher (далее по тексту WCW).

Приложение WCW поставляется с устройством видеозахвата и позволяет наблюдать на мониторе в реальном времени все, что попадает в поле зрения включенной в данный момент видеокамеры. Приложение RRC разработано специально для управления марсоходом. После вызова RRC, на мониторе появляется заглавная страница виртуального пульта управления (далее по тексту – ВПУ). Для работы с ВПУ необходимо навести курсор «мыши» на нужную клавишу, нажать (и при необходимости удерживать) ЛЕВУЮ кнопку «мыши». Для начала работы надо выбрать язык общения: русский или английский и нажать соответствующую клавишу.

После этого на мониторе появится новая страница ВПУ и окно состояния РР (далее по тексту – ОСР). (См. Рис.7, Рис.8). ВПУ состоит из двух основных частей: изменяемой и неизменяемой.

Изменяемая часть содержит три закладки (страницы):

- ВЫХОД.
- ШАССИ.
- РУКА РОБОТА.

Каждая закладка имеет свои клавиши и предназначена для своих целей: закладка ШАССИ – для управления движением марсохода, закладка РУКА РОБОТА – для управления РР, закладка ВЫХОД содержит кнопки отключения ВПУ и марсохода.

Неизменяемая часть содержит шесть горизонтальных панелей, на которых расположены:

- Выпадающий список «ВЫБОР ЗАДАЧИ» для управления закладками.
- Выпадающий список «ВЫБОР КАМЕРЫ» для управления видеокамерами.
- Выпадающий список «ЛАЗЕРЫ» для управления лазерами.
- Шестиразрядный индикатор заряда аккумулятора «АККУМУЛЯТОР».
- Индикатор наличия связи СУ-РОВЕР «СВЯЗЬ ЕСТЬ/НЕТ».
- Клавишу переключения языка общения «ENGLISH/РУССКИЙ».

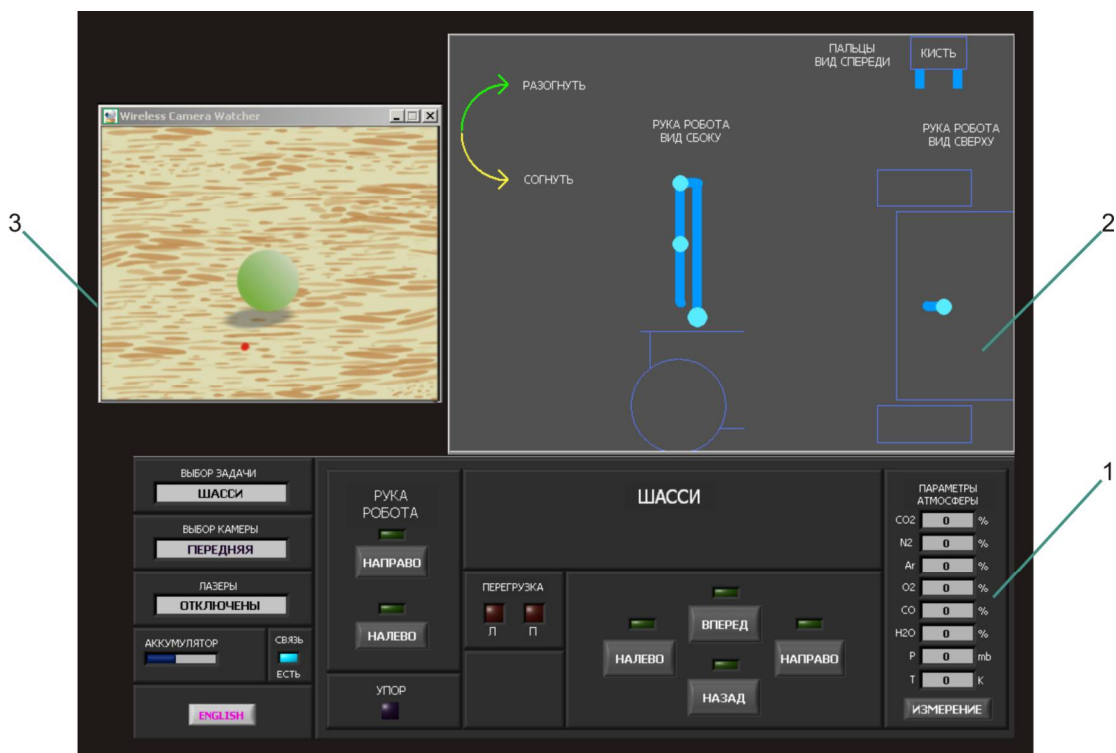


Рис.7. Закладка ШАССИ

На рисунке:

1. Виртуальный пульт управления (ВПУ).
2. Окно состояния руки робота (ОСР).
3. Окно наблюдения видеокамеры (ОНВ).

Окно состояния руки робота ОСР предназначено для облегчения работы оператора по управлению РР. Оно содержит три упрощенные (программно связанные с РР) кинематические схемы РР: вид сбоку, вид сверху и вид спереди на пальцы РР. Глядя на ОСР, оператор в любой момент знает, в каком состоянии находится рука и ее составные части: плечо, локоть, кисть, пальцы.

Закладка ШАССИ содержит четыре клавиши управления движением марсохода:

- ВПЕРЕД;
- НАЗАД;
- НАЛЕВО;
- НАПРАВО.

Оператор нажимает клавишу ВПУ и, глядя в ОНВ, направляет робот в нужном направлении. При движении вперед должна быть включена камера ПЕРЕДНЯЯ, назад – ЗАДНЯЯ.

Кроме того, на этой закладке расположены две клавиши управления РР:

- НАПРАВО;
- НАЛЕВО.

Так как камера ПЕРЕДНЯЯ направлена практически под передние колеса марсохода, для того, чтобы оператор мог видеть панораму перед роботом, используется камера ОБЗОРНАЯ. Оператор останавливает марсоход, включает камеру ОБЗОРНАЯ, расположенную в верхней части плеча РР и, вращая РР направо и налево, осматривает панораму перед роботом в пределах угла 240°.

При движении марсохода должен быть включен лазер ДАЛЬНОМЕР. Когда светящаяся точка совпадает с объектом, который необходимо захватить РР, оператор останавливает марсоход и переходит к закладке РУКА РОБОТА.

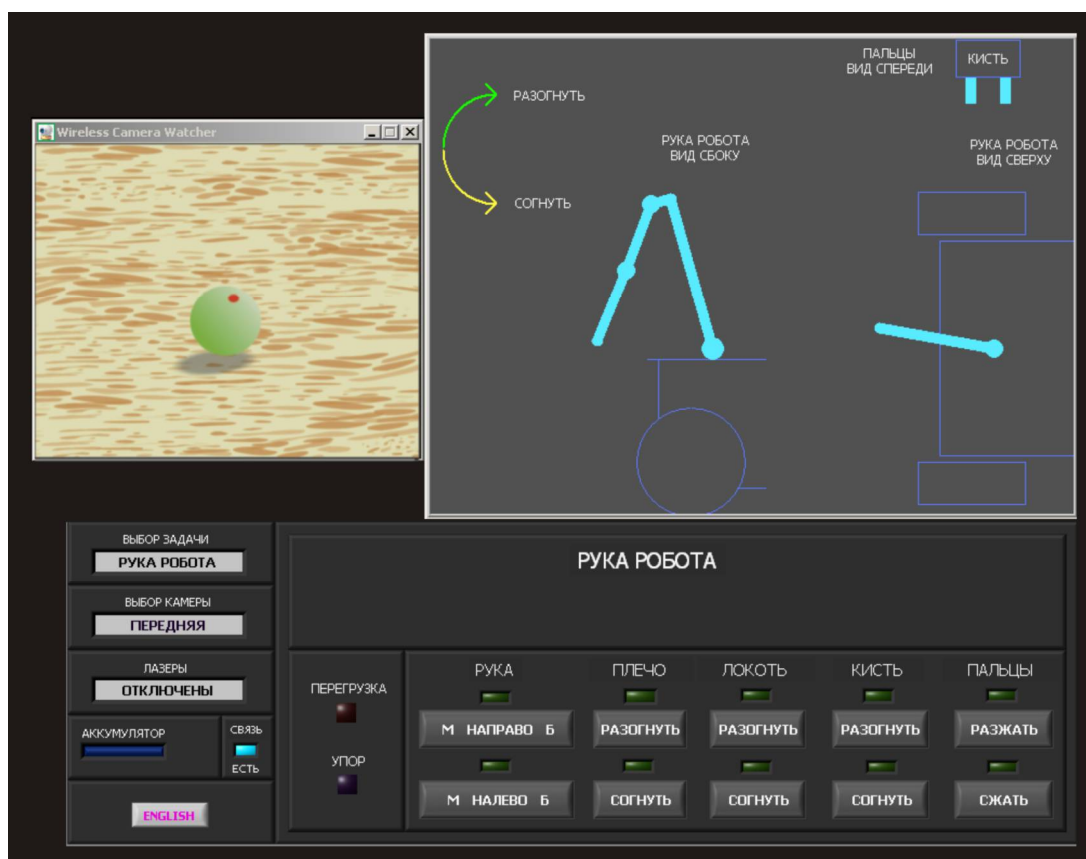


Рис.8. Закладка РУКА РОБОТА

Оператор включает лазер ПРИЦЕЛ и, глядя в ОНВ и ОСР, манипулируя клавишами, подводит пальцы РР к объекту, таким образом, чтобы светящаяся точка находилась в центре верхней части объекта, а пальцы по его сторонам. После этого остается сжать пальцы и переместить объект в ячейку на борту марсохода.

В программе RRC предусмотрены различные блокировки, не позволяющие оператору создать нештатную ситуацию, например, упираться РР в почву или в ШАССИ. Такие действия могли бы повлечь за собой отказ серводвигателей. В таких ситуациях клавиши блокируются, а на ВПУ появляется предупреждающая надпись.

На шасси марсохода расположены шесть ведущих колес, по три слева и справа, видеокамера передняя на передней стенке шасси; зарядный разъем с крышкой, зеленая кнопка ВКЛ, красная кнопка ОТКЛ, видеокамера задняя на задней стенке шасси.

Внутри шасси находятся:

- шесть ведущих электродвигателей постоянного тока, на осях которых крепятся колеса;
- шаговый электродвигатель привода;
- аккумулятор;
- электронные платы драйверов двигателей.

Колеса имеют одну степень свободы-вращение вокруг оси. Поворот морсохода происходит по типу «танкового», вращением (торможением) левых и правых колес. Были выбраны колеса с диаметром 200 мм. Количество колес (шесть) определялось исходя из допустимой нагрузки на каждое колесо.

Танковая схема лучше всего подходит для инопланетных роверов (например «луноход», построенный в СССР) благодаря своей простоте.

Эксплуатация марсохода «ТУРИСТ» в течение 2-х месяцев на полигоне ГНЦ «Институт медико-биологических проблем» РАН, имитирующем поверхность Марса, с песчаным полом, камнями и большим количеством пыли показало высокую надежность робота и его системы управления (ни одного отказа). Операторы осваивались с управлением буквально за несколько минут. Трем «космонавтам» и сотрудникам ИМБП удавалось не только управлять движением робота по заданной траектории, но и устанавливать и собирать имитаторы датчиков, помещая их в специальные ячейки на борту робота, собирать как имитаторы породы, так и реальные камни небольших размеров, помещая их в ячейку для образцов.

Далее приведены фотографии марсохода «ТУРИСТ» на полигоне ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН. Фотографии получены авторами статьи и с сайта ГНЦ РФ ИМБП РАН.

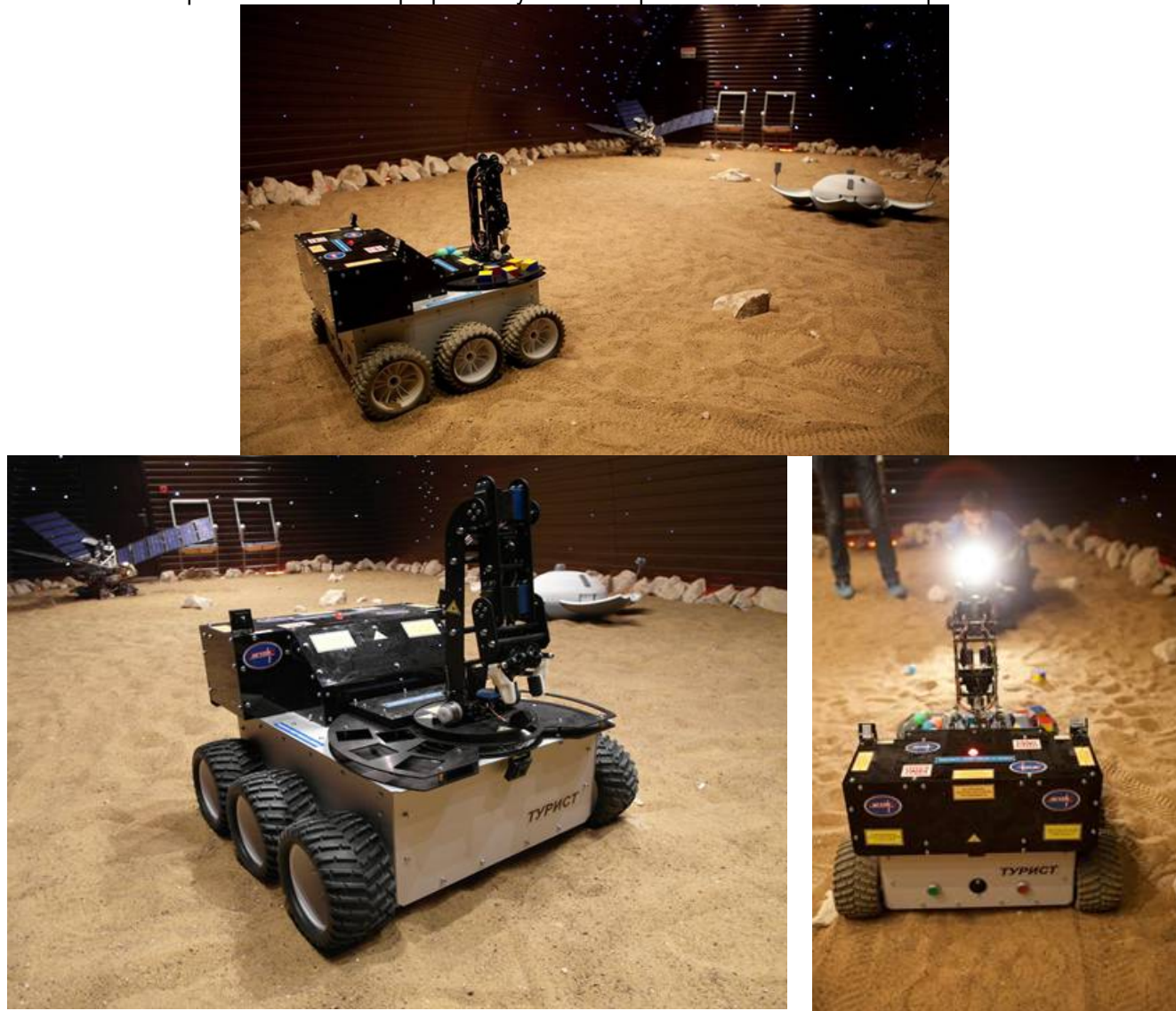


Рис.8.

КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И МОДЕЛИ

ПУЛЬКИН Игорь Сергеевич

*Доцент кафедры Высшей математики Института кибернетики
Московского технологического университета (МИРЭА)*

Что такое клеточные автоматы

Настоящая работа представляет собой обзор клеточных автоматов и моделей на их основе. Такие модели могут быть очень привлекательными для школьников-исследователей. Это связано с тем, что простота и наглядность определения и описания таких моделей сочетается с возможностью получения глубоких и нетривиальных результатов. Важно и то, что многие из моделей довольно легко запрограммировать, и часто для этого вполне достаточно школьных знаний и навыков.

Местом действия, «игровым полем» клеточного автомата являются обычные клетки, как на листе клетчатой бумаги. Могут быть использованы клетки другой конфигурации и другой размерности, но чаще всего используют двумерную квадратную сетку.

Клетки этой сетки могут быть в нескольких состояниях. Для интересных приложений часто вполне достаточно всего двух состояний: черная и белая, живая и мертвая, заполненная и пустая, и так далее. Для развития этого клеточного автомата устанавливаются определенные правила.

Время в модели клеточных автоматов дискретно и делится на такты. Все правила развития применяются к текущей конфигурации за один такт, в результате после окончания такта возникает новая конфигурация, и теперь уже к ней применяются те же правила. Встречаются автоматы с памятью, в которых следующая конфигурация зависит не только от текущей, но и от предыдущих на одном или нескольких предшествующих тактов. Такие автоматы с памятью, однако, в этой статье рассматриваться не будут, поскольку и без этого, как мы увидим, можно строить глубокие и содержательные модели.

История открытия

Первые исследования в области клеточных автоматов связано с именами американских математиков Джона фон Неймана и Станислава Улама, начавшими заниматься этой проблематикой в начале 40-х годов XX века. Оба они, впрочем, были выходцами из Восточной Европы, перебравшимися за океан из-за фашистской угрозы. Джон фон Нейман был выходцем из Венгрии, а Станислав Улам — из Польши, из города Львова, бывшего польским городом между двумя мировыми войнами. С подробностями жизни этих ученых (которые были близкими друзьями) можно ознакомиться по интересной книге С. Улама «Приключения математика» [3].

Приложения к математической логике

В первое время применения клеточных автоматов сводились в основном к абстрактным задачам, связанным с математической логикой: проблемы вычислимости и проверки доказательств, и так далее. С помощью клеточных автоматов пытались построить самовоспроизводящиеся системы и универсальный вычислитель. Единственной, пожалуй, работой прикладного характера была попытка с помощью клеточных автоматов создать модель прохождения импульсов в нервных клетках, предпринятая Норбертом Винером и Артуро Розенблютом. Впрочем, еще одна модель, описываемая далее в этой статье — модель Изинга — уже существовала на тот момент времени, но, по видимому, тогда еще не была понятна ее связь с клеточными автоматами.

В дальнейшем, в 50-е и 60-е годы с помощью клеточных автоматов пытались описать, например, самовоспроизводящихся роботов и развитие динамических систем, так что эти работы также носили специализированный, узкопрофессиональный характер.

Игра «Жизнь»

Все изменилось в 1970 году, когда английский математик Джон Конвей изобрел быстро ставшую знаменитой игру «Жизнь». В этой игре простота правил удивительным образом сочеталась с богатством возникавших ситуаций. Эта игра подробно описана М. Гарднером в книге [1], хотя после выхода

этой книги, конечно, появилось большое количество информации. Много картинок, в частности, нетрудно найти в интернете.

Действие игры «Жизнь» происходит на двумерной квадратной решетке, то есть, по сути дела — на клетчатой бумаге. У каждой клетки восемь соседей, примыкающих к ней через общую сторону или через общую вершину. Игра «Жизнь» представляет собой клеточный автомат с двумя состояниями — живая клетка и пустое поле — и со следующими простыми правилами эволюции:

— если число соседей живой клетки не равно двум или трем, то она в следующем поколении погибает, в противном случае — выживает;

— если число соседей пустой клетки в точности равно трем, то в следующем поколении в этой клетке зарождается жизнь.

Игра «Жизнь» способствовала популяризации идеи клеточных автоматов и, самое главное, дала ясный сигнал к тому, что многие сложные вещи — динамика, хаос, развитие, взаимодействие, эволюция — могут быть смоделированы простыми средствами. Это вызвало большое количество новых исследований и привело к созданию новых моделей.

Элементарные клеточные автоматы С. Вольфрама

В 1983 году английский физик Стивен Вольфрам опубликовал первую из статей, посвященную новому типу клеточных автоматов, сочетающих простоту описания со сложностью поведения. В этих автоматах действие происходит вообще в одномерном пространстве, то есть эволюционирует строка символов. Каждый символ может быть нулем или единицей, а что будет с ним на следующем шаге, зависит только от его текущего значения и значений двух его соседей.

Тройки символов «0» и «1» могут принимать 8 значений. В зависимости от этих значений и определяется значение символа. Каждая из троек символов может порождать ноль или единицу, поэтому всего возможно $2^8 = 256$ правил эволюции. Пример приведен в таблице ниже.

111	110	101	100	011	010	001	000
1	1	0	0	0	0	0	1

Все возможные правила эволюции различаются только нижней строкой. Было предложено именовать все правила в соответствии с тем, что в этой нижней строке записано. Для простоты можно считать, что там записано восьмизначное двоичное число, и называть правило этим числом, переведенным в десятичную систему счисления. Так, приведенная таблица дает «правило 193».

Несколько рисунков ниже дают представление о том, как может происходить эволюция такого клеточного автомата. Все эти рисунки иллюстрируют поведение системы из 101 символа, только один из которых — в самой середине — равен 1, а остальные равны 0. «Граничные условия» поддерживаются равными 0.

Обычно выделяют следующие классы.

1. Все символы быстро становятся одинаковыми, например, равными 0.
2. Довольно быстро возникают простые колебательные или периодические структуры. Этот случай иллюстрирует правило 77.
3. Возникают сложные, аperiodические, хаотические структуры. Эти случаи иллюстрируют правила 30, 169 и 193.
4. Возникают сложные, но периодические, «фрактальные структуры». Эти случаи иллюстрируют правила 105 и 153.

Как видно, совсем непохожи друг на друга даже те структуры, которые принадлежат к одному и тому же классу. Кроме того, поведение клеточного автомата и получающиеся при этом структуры могут сильно зависеть от начальных условий. В частности, отмечалось, что хаотические структуры класса 3 могут радикальным образом меняться при малом изменении начальных условий, и что фрактальные структуры класса 4 часто «съедают», нивелируют не слишком большую разницу в начальных данных.

Поскольку программирование эволюции таких клеточных автоматов — задача довольно простая и вполне доступная для школьников, появляется возможность проводить собственные исследования. В последнее время в некоторых статьях в интернете обращают внимание на существование сложных

структур для некоторых правил, чаще всего из класса 4, и на тонкие и интересные эффекты при взаимодействии таких структур.

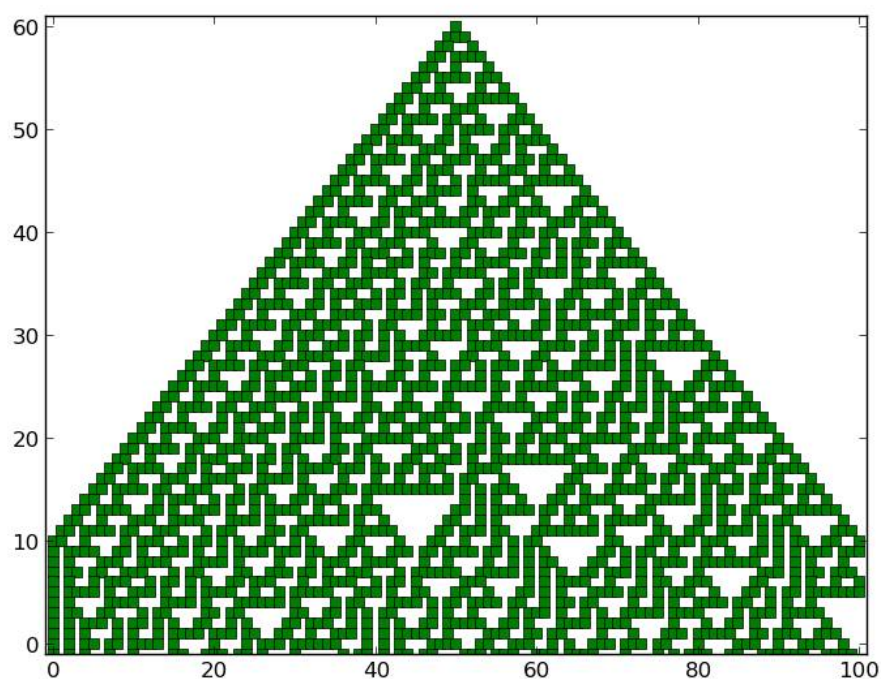


Рис. 1. Эволюция элементарного клеточного автомата С. Вольфрама с правилом 30

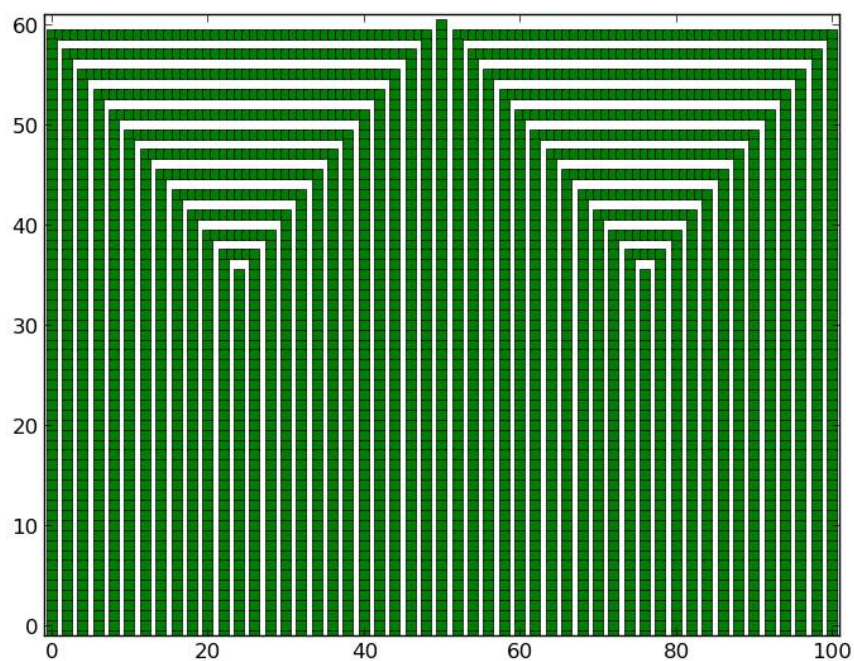


Рис. 2. Эволюция элементарного клеточного автомата С. Вольфрама с правилом 77

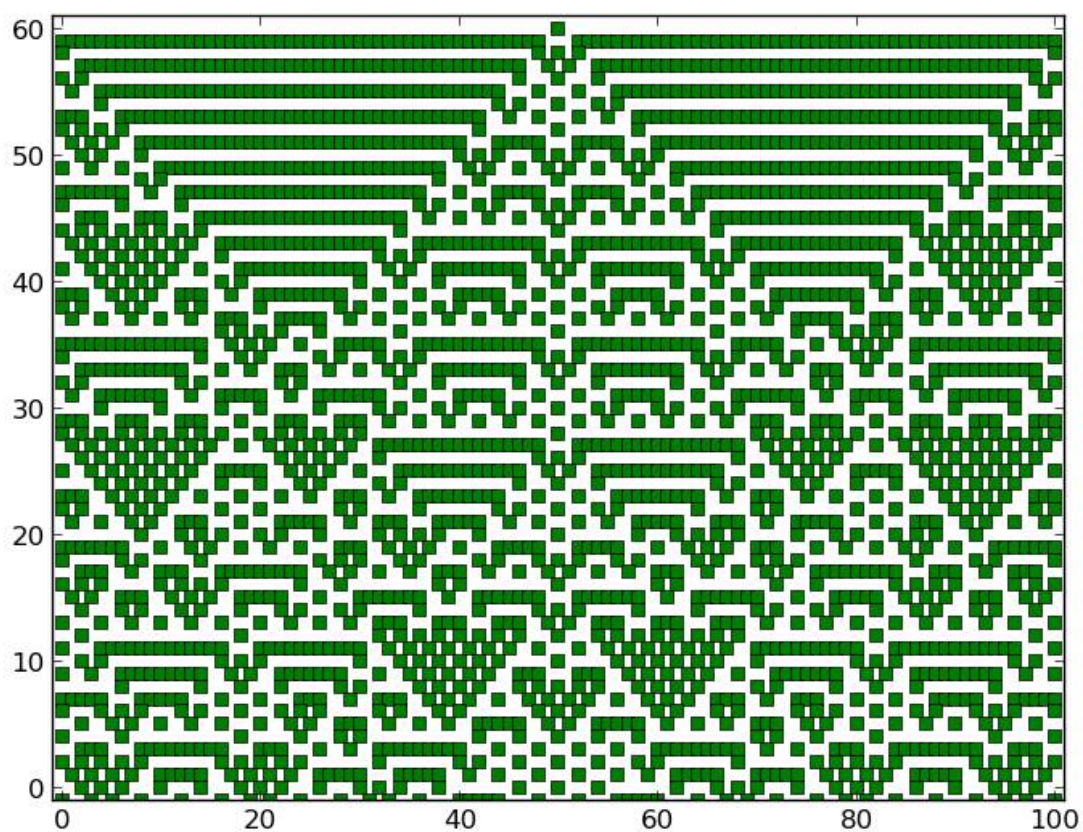


Рис. 3. Эволюция элементарного клеточного автомата С. Вольфрама с правилом 105

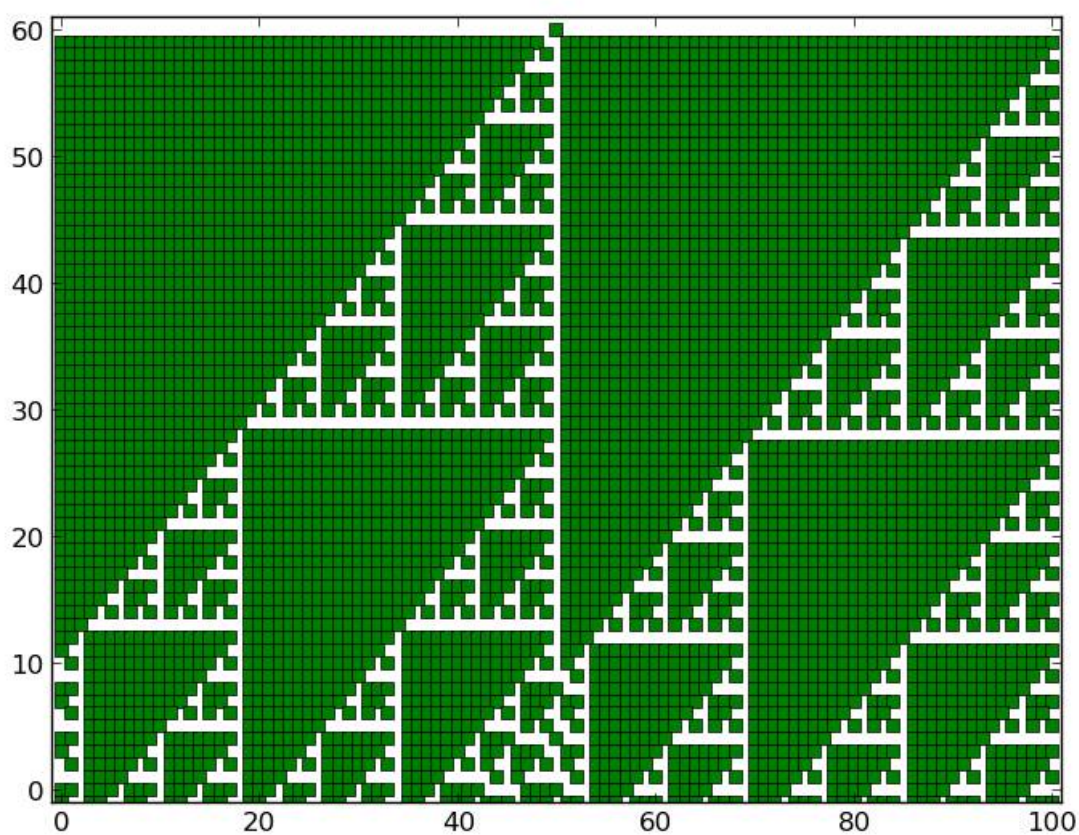


Рис. 4. Эволюция элементарного клеточного автомата С. Вольфрама с правилом 153

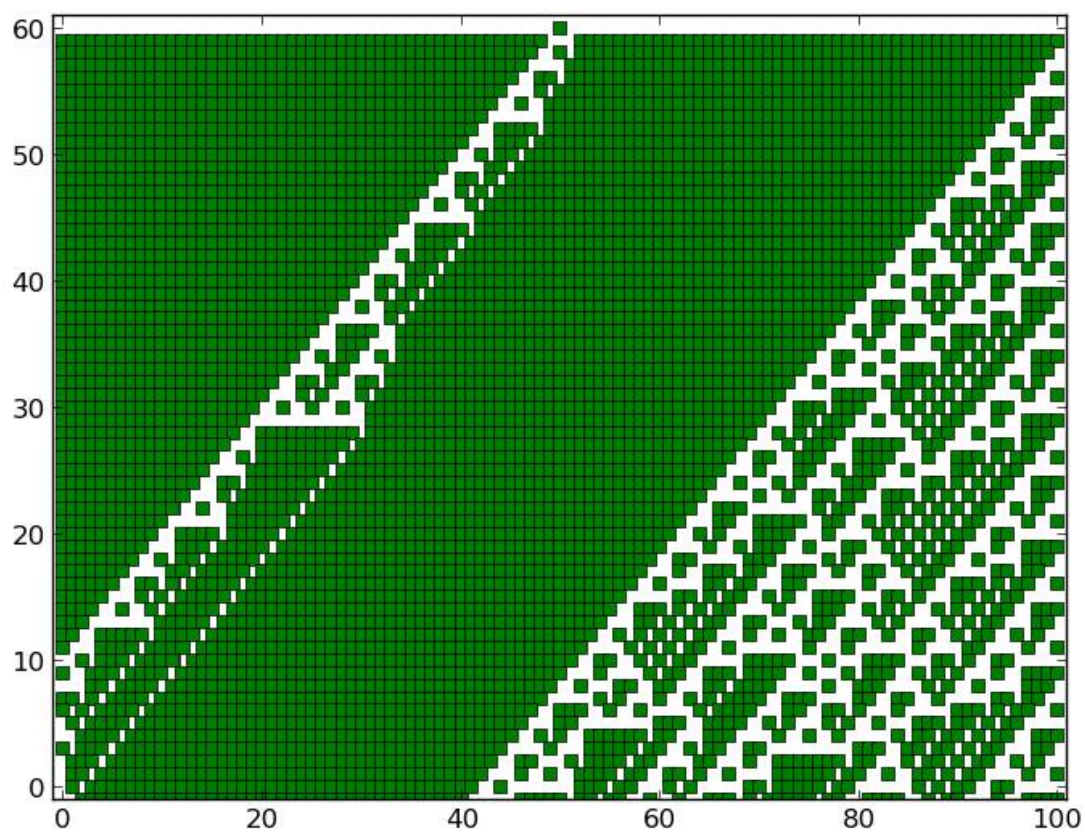


Рис. 5. Эволюция элементарного клеточного автомата С. Вольфрама с правилом 169

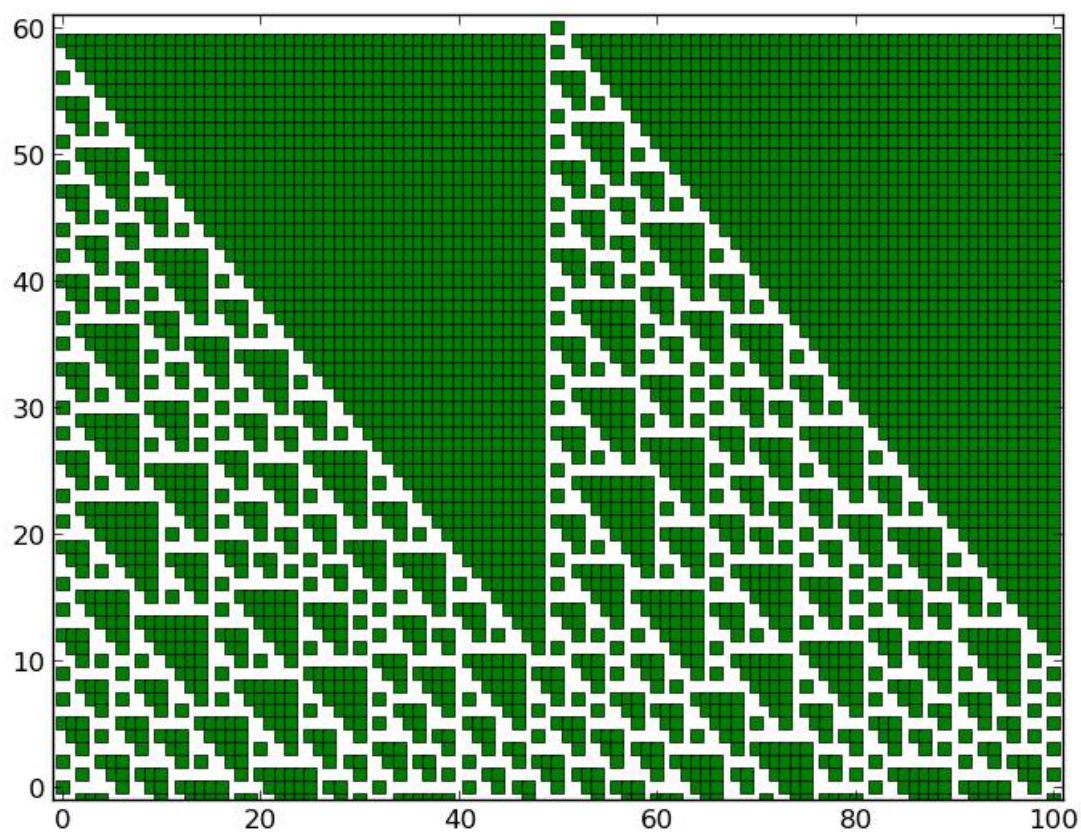


Рис. 6. Эволюция элементарного клеточного автомата С. Вольфрама с правилом 193

Случайные автоматы

Еще одной идеей, продвинувшей изучение клеточных автоматов, стала идея перехода к случайным автоматам, не только к таким, у которых случайным является начальная конфигурация, но и к таким, где тем или иным образом меняются правила эволюции.

Как говорят, миром правит случай. Поэтому добавление эффектов случайности позволило смоделировать широкий класс физических процессов, многие из которых ранее не поддавались анализу.

Возможно, первым из таких процессов была так называемая «Ограниченная диффузией агрегация» (модель ОДА). Статью об этом опубликовали в 1981 году американские ученые Томас Виттен и Леонард Сандер. Они предложили такую модель: по квадратной сетке движутся частицы, причем вероятность перехода в соседнюю ячейку уменьшается с ростом массы частицы. По сути, это модель броуновского движения, а новым было вот что: если две частицы достаточно долгое время находились рядом друг с другом, то они слипались и дальше двигались вместе. В результате частицы в численных экспериментах слипались в своеобразную пористую массу, наподобие творога. При других условиях могли появляться разветвленные структуры вроде кораллов или ветвей дерева.

По сути, мы опять имеем дело с клеточным автоматом, только со случайно меняющимися правилами перехода. Эти соображения позволили быстро развить искусство численного моделирования таких процессов и применить их к исследованию явлений самой разнообразной природы:

- распространение и рост трещин;
- пробой диэлектриков, распространение молнии и разряд в газах;
- образование гелей;
- фазовые переходы;
- распространение эпидемий;
- и другие явления.

На рисунке ниже изображен фрактальный кластер, выращенный с помощью компьютерного моделирования ограниченной диффузией агрегации. Рисунок взят из книги [4], где он был перепечатан из оригинальной статьи Т. Виттена и Л. Сандера 1983 года.

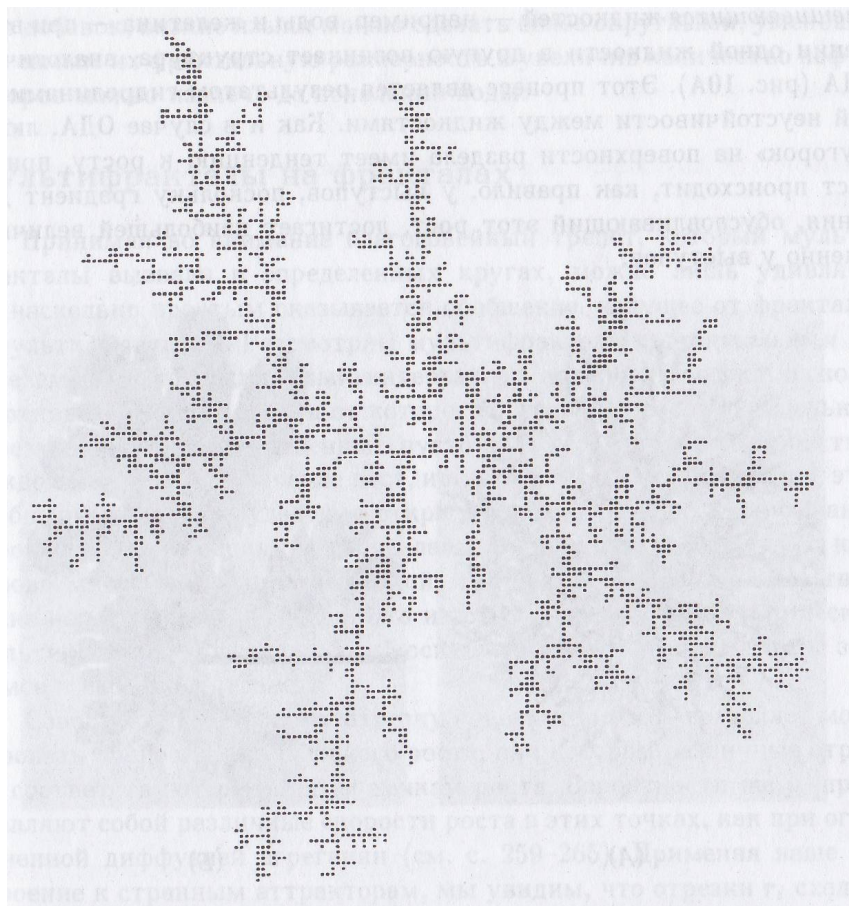


Рис. 7. Кластер, выращенный с помощью компьютерного моделирования модели ОДА.

Модель ОДА вызвала пристальный интерес физиков со всего мира. Как уже отмечалось, теперь появилась возможность смоделировать то, что раньше не поддавалось анализу. Еще одной причиной интереса было то, что подобные образования стали предметом исследования не только физиков, но и математиков. Появились работы, посвященные фракталам — новым математическим объектам, описывающим различные сложные, разветвленные структуры. Первопроходцем в этих исследованиях был французский математик Бенуа Мандельброт. Многие его результаты и наблюдения были впоследствии опубликованы в его книге «Фрактальная геометрия природы» [2].

Надо еще раз подчеркнуть, что все эти сложные явления стали доступны для исследования теперь, когда появились простые модели для их описания. Написание программ для такого моделирования и проведение собственных исследований стало доступно школьникам-старшеклассникам.

Модель Изинга

Эта модель приоткрыла завесу тайны над фазовыми переходами второго рода, например, над тем, как немагнитный материал, например, нагретое железо, при охлаждении становится магнитом.

Эта модель была разработана немецким физиком Эрнстом Изингом в 1924 году, когда он защитил диссертацию под руководством профессора Вильгельма Ленца. Сам Изинг всегда отмечал роль своего руководителя в разработке этой модели, и даже предлагал переименовать в модель Ленца — Изинга. Кстати, Эрнст Изинг тоже в дальнейшем стал американским физиком из-за преследования людей его национальности в фашистской Германии.

Пусть на листе клетчатой бумаги есть клетки двух видов — пустые, немагнитные и заполненные магнитным материалом. Например, как на приведенном ниже рисунке. У каждой магнитной клеточки есть вектор магнитного момента. Когда магнитных клеточек мало, этот вектор направлен произвольно.

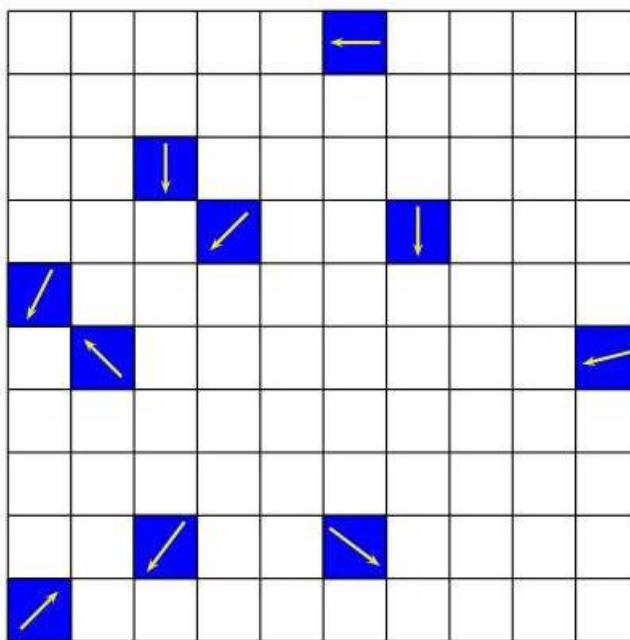


Рис. 8. Векторы магнитных моментов направлены хаотично

Примем две аксиомы для магнитных моментов.

1. Если две магнитные клеточки располагаются рядом, то есть имеют общую границу, то векторы магнитных моментов у них будут направлены одинаково.

2. Вектор магнитного момента для каждой клеточки имеет некоторое пороговое нижнее значение, то есть не может быть равен нулю.

Далее, пусть количество магнитных клеточек увеличивается. Тогда мы получим сначала то, что изображено на рисунке 9.

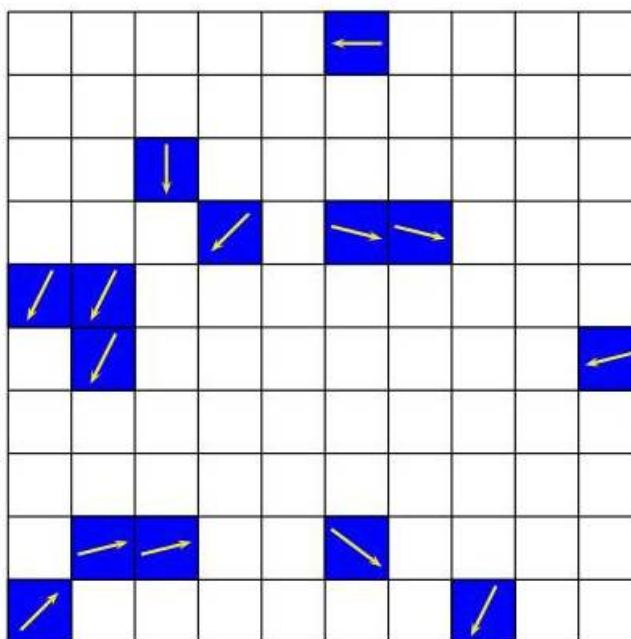


Рис. 9. Векторы магнитных моментов соседних клеток направлены одинаково

Если мы будем дальше продолжать увеличивать количество магнитных клеточек, то рано или поздно наступит момент, когда все эти клеточки сольются в единый кластер. Тогда из каждой магнитной клеточки в другую такую же можно будет перейти, перемещаясь из одной клеточки в соседнюю, тоже магнитную. И тогда все векторы магнитных моментов во всем образце будут направлены одинаково — образец станет магнитом.

Таким образом, если раньше, когда магнитных клеточек было мало, клеточки, расположенные далеко друг от друга, «не чувствовали» друг друга, то теперь их магнитные моменты будут согласованы друг с другом через «мостик», состоящий из таких же магнитных клеточек. В таком случае говорят, что появился «дальний порядок».

Модель Изинга может применяться не только при изучении ферромагнетиков. Она может пригодиться во многих случаях, когда возникает переход «порядок — беспорядок», например в теории сверхпроводимости, в теории просачивания (перколяции), и даже в генной инженерии, в описании процедуры денатурации ДНК.

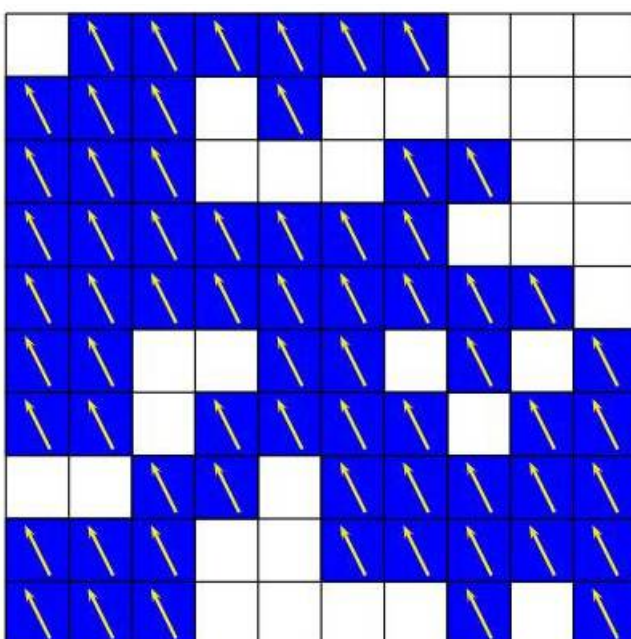


Рис. 10. Векторы магнитных моментов всех магнитных клеток направлены одинаково

Подводя итог, скажем, что для клеточных моделей и клеточных автоматов характерны простота понимания сути дела и часто простота программирования в сочетании со сложностью, нетривиальностью и реалистичностью поведения описываемых систем.

Литература

1. Гарднер М. Математические досуги. М.: Мир, 1972. 496с.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656с.
3. Улам С.М. Приключения математика. Ижевск: R&C Dynamics, 2001. 272 с.
4. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Ижевск: R&C Dynamics, 2005. 528 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

ТАТАРИНЦЕВ Андрей Владимирович

кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры Высшей математики-2, Институт электроники,
Московский технологический университет (МИРЭА)

Среди олимпиадных задач, а также задач внутренних вступительных экзаменов в вузы, встречаются задачи, связанные с использованием основ теории функции и некоторых функциональных свойств. Эти примеры, как правило, не могут быть решены простыми тождественными преобразованиями или другими стандартными школьными методами. Они вызывают определенные сложности для обычных школьников. В связи с такой постановкой вопроса, возникает интерес к формированию у школьников старших классов понятия функции, монотонности, ограниченности и других свойств, позволяющих исследовать задачи школьной математики на языке основ математического анализа. Следует отметить, что данная тема не требует навыков сложных математических вычислений и знания нестандартных математических приемов. Она достаточно проста для понимания и освоения элементарных исследовательских навыков. В настоящей работе автором будет приведен некоторый метод решения специального класса задач повышенной сложности, с целью заинтересовать современного школьника данной проблематикой. Данная статья призвана, в очередной раз, проинформировать школьников и их учителей, хотя подобные методы не являются «секретом» для серьезных учебников и задачников по элементарной математике. Более детальное изучение этого раздела требует от школьника более глубокого «погружения» в тему функциональных уравнений, в частности, через современную научную и научно-популярную литературу.

1. Циклические системы и функциональные уравнения специального вида

Рассмотрим в данном разделе систему уравнений специального вида. Пусть $y = f(x)$ - некоторая произвольная функция переменной x . Систему уравнений

$$\begin{cases} f(x_1) = x_2 \\ f(x_2) = x_3 \\ \dots \\ f(x_p) = x_1 \end{cases} \quad (1)$$

будем называть циклической функциональной системой порядка p , связанной с функцией $y = f(x)$. Данная система равносильна уравнению вида:

$$f(f(\dots f(x)\dots)) = x, \quad (2)$$

где в левой части равенства (2) функция $y = f(x)$ вложена p раз, а x - любая из переменных $x_1; x_2; \dots; x_p$ входящих в систему уравнений (1).

В частности, система из двух уравнений (циклическая функциональная система второго порядка) и соответствующее ей уравнение имеют вид:

$$\begin{cases} f(x) = y \\ f(y) = x \end{cases} \Leftrightarrow f(f(x)) = x.$$

Подобного типа уравнения и системы встречаются при решении некоторых математических задач и порой вызывают определенные трудности для их решения у школьников, поэтому могут быть условно отнесены к задачам повышенного уровня сложности. Наряду с этим, некоторые типы задач могут быть сведены к таким системам, однако чтобы увидеть эту возможность, необходимо знать о существовании такого типа систем и о методах их решения. Рассмотрим несколько примеров, при решении которых встречаются подобного рода системы и их решения (с точки зрения простого школьника).

ПРИМЕР-1

Решить уравнение: $(x^2 + 3x - 10)^2 + 3(x^2 + 3x - 10) - 10 = x$.

При решении этого уравнения школьнику, знакомому с идеей замены переменных, конечно, придет в голову сделать замену: $x^2 + 3x - 10 = y$, но для окончательного совершения замены, необходимо выразить через новую переменную тот самый x , который стоит в правой части исходного уравнения. И здесь возникнут проблемы. Полученное в результате частичной замены уравнение $y^2 + 3y - 10 = x$ не может быть просто (без иррациональности) выражено через новую переменную y . Выходом из этого сложного положения в данном случае является рассмотрение не одного уравнения, а сразу обоих равенств: условия замены и получившегося в результате неполной замены уравнения. Причем эти уравнения надо соединить в систему:

$$\begin{cases} x^2 + 3x - 10 = y \\ y^2 + 3y - 10 = x \end{cases}$$

Это и есть циклическая система второго порядка. Для решения системы вычтем одно уравнение из другого, получим:

$$x^2 - y^2 + 3x - 3y = y - x,$$

или, раскладывая на множители:

$$(x - y)(x + y + 4) = 0.$$

Решаем теперь совокупность двух систем:

$$\begin{cases} x^2 + 3x - 10 = y \\ x - y = 0 \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} x^2 + 3x - 10 = y \\ x + y + 4 = 0 \end{cases}.$$

Получим ответы для исходного уравнения:

$$x = -1 \pm \sqrt{11} \quad \text{и} \quad x = -2 \pm \sqrt{10}.$$

Возможен ли другой способ решения исходного уравнения? Почти любая задача элементарной математики, имеющая решение в рамках, понятных школьнику, как правило, имеет несколько решений. Безусловно, это утверждение не является теоремой, а скорее отражает опыт преподавания математики.

ки автором статьи. В данном случае если раскрыть скобки в исходном равенстве, получим уравнение с многочленом 4 степени:

$$x^4 + 6x^3 - 8x^2 - 52x + 60 = 0.$$

Как видно из ответов, целых корней уравнение не имеет. Однако уравнение может быть разложено на произведение двух квадратичных функций методом неопределенных коэффициентов:

$$(x^2 + ax + b)(x^2 + cx + d) = 0$$

с дополнительным условием $bd = 60$. Если искать неопределенные коэффициенты в целых числах, то, несмотря на большой перебор вариантов, можно прийти к решению

$a = 2$; $b = -10$; $c = 4$; $d = -6$. Это приведет нас к разложению на квадратичные множители уравнения:

$$(x^2 + 2x - 10)(x^2 + 4x - 6) = 0$$

и, как следствие, к уже полученным ранее корням.

ПРИМЕР-2

Решить уравнение: $\frac{x^3}{2} - 2 = \sqrt[3]{2x + 4}$.

Задание взято из вступительных экзаменов в МИРЭА и также является уравнением, сводящимся к циклической системе второго порядка. Обозначим иррациональный корень, стоящий в правой части исходного уравнения за новую переменную $\sqrt[3]{2x + 4} = y$, тогда получим, что $2x + 4 = y^3$. Преобразуем исходное уравнение к системе:

$$\begin{cases} \frac{x^3}{2} - 2 = y \\ 2x + 4 = y^3 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x^3 = 2y + 4 \\ y^3 = 2x + 4 \end{cases},$$

которая оказалась системой рассматриваемого типа. Вычитая уравнения системы, получим равенство:

$$x^3 - y^3 = 2y - 2x$$

или, разложив на множители:

$$(x - y)(x^2 + xy + y^2 + 2) = 0.$$

Поскольку уравнение распадается на два множителя, система преобразуется к совокупности двух систем:

$$\begin{cases} x^3 = 2y + 4 \\ x - y = 0 \end{cases} \text{ и } \begin{cases} x^3 = 2y + 4 \\ x^2 + xy + y^2 + 2 = 0 \end{cases}.$$

Вторая система решений не имеет, так как неполный квадрат величина неотрицательная, а, следовательно, $x^2 + xy + y^2 + 2 \geq 2 > 0$. Первая система приводит к уравнению:

$$x^3 - 2x - 4 = 0,$$

которое имеет целый корень $x = 2$. Используя схему Горнера или деление многочленов «уголком» можно разложить данное уравнение на множители:

$$(x - 2)(x^2 + 2x + 2) = 0.$$

Так как дискриминант второго множителя отрицателен, то других корней, кроме решения $x = 2$ исходное уравнение не имеет.

Приведенные примеры не исчерпывают множества задач элементарной математики, которые могут быть приведены к циклическим функциональным системам данного вида. Иногда подобные задачи встречаются и в олимпиадах, математических боях и других видах математических испытаний.

2. Общие свойства решения циклических систем

Если внимательно рассмотреть приведенные примеры, то легко видеть, что в каждом из примеров возникает равенство $x = y$ как частный случай решения. Таким образом, циклическая функциональная система второго порядка:

$$\begin{cases} f(x) = y \\ f(y) = x \end{cases} \Leftrightarrow f(f(x)) = x$$

имеет решения, совпадающие с решениями уравнения $f(x) = x$. Действительно, если x является корнем уравнения $f(x) = x$, то же значение x является и решением более сложного уравнения $f(f(x)) = x$. Аналогичное свойство имеет и функциональное уравнение произвольного порядка:

$$f(f(\dots f(x)\dots)) = f(f(\dots x\dots)) = \dots = f(x) = x$$

Возникает вопрос, когда существуют другие решения системы, отличные от решений уравнения $f(x) = x$, а когда их нет. Два примера противоположны по ответу на этот вопрос. В первом случае, когда система связана с функцией $f_1(x) = x^2 + 3x - 10$ имеются другие корни уравнения (вторая и систем совокупности), а во втором примере, связанном с функцией $f_2(x) = \frac{x^3}{2} - 4$ решений отличных от корней уравнения $f_2(x) = x$ нет (вторая система в совокупности корней не дает). Ответ на этот вопрос может дать исследование свойства монотонности функции $f(x)$.

Справедливо следующее утверждение. Если эта функция $f(x)$ монотонно возрастает на множестве действительных чисел, то уравнение $f(f(\dots f(x)\dots)) = x$ имеет решения, совпадающие с решением более простого уравнения $f(x) = x$, следовательно, оба эти уравнения равносильны:

$$f(f(\dots f(x)\dots)) = x \Leftrightarrow f(x) = x, \text{ если } f(x) \text{ - монотонно возрастает } x \in R.$$

Докажем это утверждение. Предположим, что x_0 - корень уравнения $f(f(\dots f(x)\dots)) = x$, но при этом значение $f(x_0) \neq x_0$, тогда верно одно из равенств $f(x_0) > x_0$ или $f(x_0) < x_0$. Положим, для определенности, что верно первое равенство $f(x_0) > x_0$. Тогда в силу монотонности функции $f(x)$ верно неравенство $f(f(x_0)) > f(x_0)$ и, следовательно, $f(f(x_0)) > f(x_0) > x_0$.

Рассуждая подобным образом, получим $f(f(\dots f(x_0)\dots)) > x_0$, что противоречит тому факту, что x_0 - корень этого уравнения.

Если же функция $f(x)$ монотонно убывает или вообще не имеет фиксированной монотонности, то уравнение $f(f(\dots f(x)\dots)) = x$ может иметь решения, отличные от решений уравнения $f(x) = x$. Для уточнения смысла сказанного приведем еще один пример.

ПРИМЕР-3

Для всех значений параметра a найти количество решений системы уравнений

$$\begin{cases} x^2 + a = y \\ y^2 + a = x \end{cases}.$$

Геометрически, множество решений системы совпадает с множеством точек пересечения двух парабол, которое меняется в зависимости от значения параметра a . Причем число решений варьируется от нуля до четырех. Исходная система равносильна совокупности двух систем (пример 1):

$$\begin{cases} x^2 + a = y \\ y - x = 0 \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} x^2 + a = y \\ y + x = -1 \end{cases}$$

или совокупности двух квадратных уравнений с параметром:

$$\begin{cases} x^2 - x + a = 0 \\ x^2 + x + a + 1 = 0 \end{cases}.$$

Первое уравнение совокупности имеет решение при $a \leq \frac{1}{4}$, а второе при $a \leq -\frac{3}{4}$. Для $a = -\frac{3}{4}$ один из корней первого уравнения совпадает с единственным решением второго уравнения. Следовательно, при $a \in [-\frac{3}{4}; \frac{1}{4}]$ решения исходной системы совпадают с решениями первого уравнения (что соответствует равносильности уравнения и системы, а также выполнению условия $x = y$). При значениях параметра $a < -\frac{3}{4}$ вторая система (или второе квадратное уравнение) имеет решения отличные от первой системы в совокупности. В этом случае среди решений будут также и такие, для которых $x \neq y$ (а именно, $x + y = -1$).

Приведем в заключение еще один пример из олимпиады МИРЭА.

ПРИМЕР-4

Найти все значения параметра a , при которых данная система имеет ровно два различных решения:

$$\begin{cases} x^3 + 4x^2 + 6x + a = y \\ y^3 + 4y^2 + 6y + a = z \\ z^3 + 4z^2 + 6z + a = x \end{cases}.$$

Это типичная функциональная система 3-го порядка. Функция, определяющая данную систему $f(x) = x^3 + 4x^2 + 6x + a$, монотонно возрастает при всех значениях параметра a , так как производная этой функции $f'(x) = 3x^2 + 8x + 6 > 0$ положительная. Следовательно, система равносильна уравнению $x^3 + 4x^2 + 6x + a = x$ при условии, что решением являются равные значения переменных $x = y = z$. Анализ числа решений системы свелся к исследованию числа решений уравнения $x^3 + 4x^2 + 5x + a = 0$, что значительно упрощает задачу. Оставляем этот анализ на самостоятельное исследование любознательным читателям. Заметим только, что решением будут значения $a = 2$ и $a = 50/27$.

Литература

1. Арлазаров В.В., Татаринцев А.В., Тиханина И.Г., Чекалкин Н.С. Лекции по математике для физико-математических школ. Часть 2. Учебное пособие. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 264 с.

Симпозиум 4.

Социально-гуманитарные науки в современном обществе

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ В СОВРЕМЕННОЙ СЕТИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НОВАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

МОРОЗ Оксана Владимировна

*Кандидат культурологии, кафедра истории и теории культуры,
куратор программы «Культурология» второго высшего образования
Российский Государственный Гуманитарный Университет*

Новые вызовы медиа: ситуация «онлайн»

Современный человек постоянно живет, окруженный устройствами, производящими и распространяющими информацию. К привычным медиаторам в виде печатной прессы, радио и телеэкранам в последние 10 лет добавились персональные девайсы, значительно увеличивающие архив сообщений, проходящий через читателя/слушателя/зрителя ежедневно. При этом по крайней мере те из современных людей, что вовлечены в постоянные множественные интеракции и коммуникации, сталкиваются с серьезными трансформациями своей привычной жизни. Прежде всего, эти изменения связаны с нарастанием роли медийных технологий в частной и публичной жизни, а также с вторжением бывших ранее «чисто» виртуальными онлайн практик в повседневность.

Так, человек, ответственно относящийся к собственному профессиональному развитию, должен быть всегда на связи. Более того, он должен быть готов к решению деловых вопросов не только «всегда», но и «везде», в том числе, в тех «уголках» онлайн мира, которые мыслит как приватные и частные пространства. Казалось бы, деловой этикет и нормы определения границ профессиональной коммуникации существуют до сих пор. Однако количество программ, используемых для прямой коммуникации (мессенджеры, социальные сети, блоги, микроблоги, электронная почта, наконец), за последнюю декаду увеличилось стремительно. И теперь оказывается, что решать проблемы с помощью более ригидных средств общения и с учетом наличия формальных (временных, например) рамок коммуникации просто невыгодно. Зато выгодным становится использование любой доступной возможности face-to-face обращения к тому или иному субъекту. В результате, например, социальные сети, предназначен-

ные для легкого рекреационного общения, превращаются в источник профессиональных коллабораций (см., например, российских «Facebook»).

Впрочем, и те поколения, которым только предстоит столкнуться с этическими парадоксами современной медиатизированной профессиональной жизни, испытывают на себе последствия описываемой ситуации. Например, когда онлайн среда развивается стремительно, опережая прочие медиаторы по интенсивности и привлекательности своего присутствия, процесс обучения претерпевает ряд серьезных изменений. Учеба перестает быть тесно связана с вниманием к авторитетам: любой внимательный к медиа учащийся знает, что в онлайн энциклопедиях, среди контента образовательных проектов типа «Постнаука» или «Арзамас» можно найти, зачастую, гораздо более актуальную информацию, нежели в учебнике, изданном десятилетие назад. И, кроме того, существуют образовательные платформы (вроде «Coursera»), позволяющие бесплатно обучаться в лучших мировых вузах и получать соответствующие сертификаты. Наконец, уже много лет успешно работает «Википедия». Еще несколько лет назад цитирование статей этой «свободной энциклопедии» считалось недопустимым в академическом сообществе и не поощрялось в рамках прохождения любой ступени обучения. Сейчас же многие исследователи оценили эвристический потенциал этого огромного архива семантических данных и сами выступают авторами статей для Википедии, либо выполняют функции модераторов, следящих за релевантностью текстов на те или иные темы.

Без преувеличения можно сказать, что современные онлайн медиа обладают потенциалом трансформации всех практик, реализуемых человеком. Не изменив логики социализации и инкультурации, необходимых для вхождения в коммьюнити, медиасреда предложила людям новые способы презентации себя и «других», особые механизмы обретения места в обществе, например, посредством следования эстетической «норме». Еще 20-30 лет назад представления о прекрасном менялись благодаря влиянию индустрии моды, которая использовала прессу и телевидение для визуализации «правильных» образов. Сопrotивляться канонизации одних стандартов и стигматизации других показателей было невозможно: авторитет медиа приводил к публичному доминированию определенного контента. Теперь же представления об эстетическом измерении производят не только авторитетные медиа, принадлежащие модной индустрии, но и лидеры мнения в социальных сетях. Именно им мы должны быть благодарны за моду на определенную пластику тела при фотографировании (посмотрите, в каких позах чаще всего замирают герои селфи), и именно они запускают кампании по борьбе за право человека на красоту вне навязанных стандартов и вне навязанных ограничений и дискриминационных суждений (концепция «body positive»).

Количество подобных примеров прецедентных или, напротив, частных трансформаций повседневных практик можно множить бесконечно. Гораздо важнее другое: зачастую социальные и культурные последствия, которые стоят за использованием тех или иных технологий, не вызывают рефлексии у потребителей медиа. Однако на мой взгляд, тем, кто хочет подходить ответственно к собственному опыту общения с информационной средой, стоит обращать повышенное внимание на практики, составляющие этот опыт.

Медиа и дигитальная культура: несколько слов об ответственности

Классик медиаисследований Маршал Маклюэн более чем полвека назад произнес следующую формулу: «media is the message». По его мнению, сам факт передачи нам сведений посредством различных медиаторов оказывается не менее важен, чем содержание сообщения, которое мы получаем посредством различных источников информации.

Если мы выбираем в качестве ключевого источника информации те медиа, которые называются «старыми» (классическая пресса, телевидение, радио), то знакомимся с повествованием от лица централизованного, авторитетного и, во многом, авторитарного актора. Все, что остается нам, это пассивно потреблять данные, которые производят команды профессионалов,двигаемых своими представлениями об интересах и запросах целевой аудитории и нормами собственной редакционной политикой.

В мире «новых» медиа, развивающемся с 1991 года (год начала коммерческого распространения сети Интернет), гораздо больше значения придается воле пользователя как участника демократичного процесса создания публично распространяемого контента. Рядовые пользователи обеспечивают существование социальных сетей, невозможных без постоянных репостов и лайков. Они же, вирулентно

распространяя различную информацию и постоянно производя собственные высказывания, способствуют коммуникации и даже обеспечивают функционирование онлайн проектов за счет собственных краудсорсинговых усилий. Наблюдение за подобными возможностями членов сетевых сообществ спровоцировали известного аналитика новых медиа Генри Дженкинса на создание термина «культура партиципации» или «культура соучастия», определяющего режим существования активных пользователей, способных к деятельностному существованию в Сети, результирующемуся в конкретных артефактах и смыслах.

Конечно, сегодня всерьез говорить о наличии бинарной оппозиции «старые»/«новые» медиа бессмысленно: пресса, телевидение и радио давно используют онлайн мощности для привлечения все новых аудиторий. Однако минимальные различия, связанные с той долей самостоятельности реципиента, которая считается нормативной для производителей контента, остаются актуальны. В контексте же нашего разговора важен сам факт умножения СМК, поскольку эта ситуация непосредственно влияет на повседневность человека, трансформируя как ее техническое оснащение, так и антропологическое, социальное и культурное содержание.

На наш взгляд, невозможно определить, какие именно модификации, переживаемые людьми при столкновении с миром медиа, имеют статус доминирующих. Однако можно точно диагностировать: большая часть аналитиков, изучающих перемены в формах и принципах индивидуальной и коллективной коммуникации в эпоху медиа, считают этап развития «новых» или цифровых медиа, диагностируемый по многим, в том числе, описанным выше кейсам, драматическим для существования социокультурных практик.

Исследователи-«технократы», вроде Льва Мановича, занимающегося изучением влияния программного кодирования на производство социальных сервисов в Интернете и на привычки пользователей, предпочитают обращать внимание на логику компьютерной культуры, по их мнению, определяющую обновление функционала человека. Как пишет Манович в своей известной книге «Язык новых медиа», не стоит быть чрезмерно оптимистичными относительно тех возможностей творчества, которые якобы открываются современному медиа пользователю. Разумеется, «users» более активны, чем поклонники ТВ в силу возможностей комментирования и производства разнообразного фидбека. Однако даже их активность ограничена феноменом «cultural transcoding», который может быть расшифрован как зависимость производства любой культурной продукции в новых медиа от возможностей компьютерной программы. Код программы определяет, фотографии какого размера и формы мы сможем опубликовать в своем профиле, какой длины может быть сообщение, что мы оставляем на форуме и каким способом мы опубликовать интересную нам информацию.

Впрочем, программа не есть что-то статичное, раз и навсегда заданное и не претерпевающее никаких вариаций. Программу можно переписать (вспомните знаменитый фильм «Матрица», где эта метафора очень хорошо проработана), и тогда пользовательские стратегии репрезентации информации стремительно изменятся. Более того, программу можно заменить другим сервисом или приложением, и тогда производимые нами сообщения и, кстати, интерфейс, с помощью которого мы будем знакомиться с онлайн миром, моментально станут «другими». Лев Манович, как и многие другие технологические детерминисты, настаивает: «soft is the message». А, значит, для того, чтобы понимать мир (новых) медиа, который, как мы уже отметили, оставляет следы в нашей повседневности, необходимо разобраться, как устроены инструменты, с помощью которых мы этот мир постигаем.

Если новые возможности порождают новую ответственность, то в данном случае речь идет о развитии того, что раньше, на заре Интернет-эпохи, называли «навыками компьютерной грамотности». Впрочем, знакомство с языками программирования и наращивание знаний относительно специфики UGC-контента не гарантируют глубокого понимания той социальной и культурной ответственности, что стоит за «демократией» новых медиа.

С другой стороны, большое значение для понимания этой специфики медиа имеют исследования антропологии пользователя. Уже упоминавшийся выше Генри Дженкинс, рассуждающий о преимуществах культуры соучастия перед прежними нормами пассивного потребления медиа сообщений, предлагает задуматься о том, каково «дигитальное» измерение современного человека.

Что отличает пользователя его от предшественника, предпочитавшего внимать «готовым» информационным шумам? В первую очередь, это стремление к артикуляции собственных суждений по-

средством новых технологий. Вместо потребления приходит практика «produsage» (A. Bruns); вместо уверенности в релевантности прежних нормативов коммуникации и стандартов общественного взаимодействия возникает желание самостоятельно настраивать принципы со-общения с миром; вера в навыки профессионалов и доверие экспертам дополняется желанием «любителей» проверить свои силы в реализации тех или иных проектов (что-то похожее наблюдается в «фанфик»-сообществах) и т.д.

Все эти фактически мировоззренческие основания стратегий пользования Сетью не остаются декларацией о намерениях, но выступают основой реальных сценариев онлайн поведения. В большинстве случаев этическая составляющая краудсорсинговых инициатив или трансмедийных проектов не вызывает сомнений, а, напротив, свидетельствует о социальной значимости акторных стратегий пользователей. В то же время в Интернете постоянно возникают конфликты, причиной которых оказывается наличие чрезмерно широкой трактовки «демократичности» сетевых практик, в том числе, связанных с нормами самовыражения. Не только в российском национальном секторе Сети, но во многих других сегментах нередко дискриминационные скандалы (с высказываниями в формате hate speech), наличие которых демонстрирует следующее: в мире онлайн, где зачастую отсутствуют строгие ограничения свободы самовыражения, ответственность за корректность суждений лежит на самих пользователях. Частотность подобных столкновений, в которых проявляется слабость следования нормативным предписаниям коммуникации, которые обычно соблюдаются офлайн, указывает на этический парадокс. С одной стороны, Интернет как свободололюбивое пространство не может не «реагировать» негативно на любые попытки ограничить свободу высказываний. С другой стороны, устойчивые, «нормальные» для современного общества представления о публичной деятельности как уважительном диалоге требуют подобных ограничений и контроля, поскольку только они могут обеспечить экологичность медиасреды.

К сожалению, выход из этого тупика не могут обнаружить ни теоретики медиа исследований или политической философии, ни практики – политики, журналисты или любые другие эксперты, ответственные за создание нормативов и смыслов, «настраивающих» общественную жизнь. Философы теории либерализма, такие как Чандрани Кукатас, утверждают, что качество будущего человечества определяется его способностью к саморегуляции. Это означает, что подобные случаи агрессивного поведения должны быть осмыслены сообществами, их порождающими, и маркированы как «радикальные» и «невозможные». При всей фундированности этой позиции, она не дает ответа на вопрос, как поступать с жертвами hate speech здесь и сейчас. Европейские политики, чаще других в современных условиях задумывающиеся о специфике взаимодействия с миноритарными группами, так же не могут выработать единого комплекса мер по предотвращению фактов дискриминации и перекладывают ответственность за решение этой проблемы на правоведов и судебную систему. Получается, что выработка решений по этому вопросу остается за самим сетевым сообществом. И только те пользователи, которые в состоянии оценить патогенность агрессии онлайн и ее негативное влияние на практики «заботы о себе» (термин Мишеля Фуко) для повседневной жизни, в состоянии предложить компромиссные ситуации регулирования Интернета, которые не будут вступать в противоречия с идеологическими основаниями этого пространства.

Быть ответственным – значит осознавать все последствия действий, производимых индивидуально или в группе. Иметь суждение – значит уметь высказывать мнение, которое можно отстоять в опоре на ряд верифицируемых тезисов и аргументов. До тех пор, пока эти способности не станут нормой когнитивных практик офлайн, вряд ли стоит ожидать их реализации в дигитальном измерении.

СЦЕНАРИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ПОЛЕЙКО Кирилл Владимирович

*преподаватель кафедры Дизайн среды,
Московский государственный университет дизайна и технологии*

Все люди - дизайнеры. Все, что мы делаем, практически всегда - дизайн, ведь проектировать свойственно человеку в любой его деятельности. Планировать свои действия в соответствии с поставленной целью составляет суть дизайна.

Дизайн - это сознательные и интуитивные усилия по созданию значимого порядка [5].

Герберт Саймон определяет дизайн следующим образом: Инженеры-конструкторы — не единственные представители профессиональных дизайнеров. Дизайном занимается каждый, кто разрабатывает варианты действий, направленные на изменение существующих ситуаций в предпочтительные.

Дизайнерское проектирование — соединение в целостной структуре и гармоничной форме всех общественно необходимых свойств проектируемого объекта. Основные рабочие категории дизайнерского (художественного) проектирования — образ, функция, морфология, технологическая форма, эстетическая ценность [1].

Проектирование вообще — процесс создания, описания, изображения или концептуальной модели несуществующего объекта с заданными функциональными, эргономическими и эстетическими свойствами, оно осуществляется в том или ином языке, в терминах и структурах которого обосновывается принципиальная возможность осуществления объекта и строится выходной текст проекта (его рабочая документация). Дизайн как вид художественного проектирования объединяет научно-технический и художественно-образный подходы к построению модели будущего объекта и способа ее описания [1].

Эволюционно подходы к проектированию объектов и систем можно разделить на три этапа:

Функциональное проектирование.

Любой объект служит лишь материальным носителем функции, то есть функция — первична, объект — вторичен и создается по причине невозможности иными, нематериальными средствами удовлетворить потребности людей. Так, автомобиль нужен для перевозки грузов и людей (функция — перемещать в пространстве, создан вследствие нереальности перемещения предметов только усилием мысли), назначение ручки — писать, а книги — хранить информацию и т. д.

Наряду со словом «функция» часто используется слово «назначение», особенно при рассмотрении не технических объектов.

Функциональное проектирование нацелено, прежде всего, на создание эффективно работающего объекта. Выполнение требуемой функции — главная цель и основа разработки объекта. Во внимание принимаются, прежде всего, функциональные показатели качества и показатели надёжности.

Оптимальное проектирование

Проектирование, целью которого является не только поиск функционально эффективных решений, но и удовлетворение разных, порой противоречивых потребностей людей, обоснованный выбор окончательного варианта, стали называть оптимальным проектированием (критериальным проектированием, вариантным проектированием). Активно оно начало применяться со второй половины 20 века благодаря достижениям теории принятия решений и теории исследования операций и широкому распространению вычислительной техники, позволившим разработать соответствующие методы, в обозримые сроки просчитывать многочисленные варианты и решать сложные математические задачи.

Большое значение в оптимальном проектировании отводится подготовке на этапе технического задания полного перечня требований к разрабатываемому объекту, выделению среди них показателей качества и преобразованию наиболее важных из них в критерии оптимизации. Показателен в этой связи девиз одной японской фирмы — «Мы не создаем технику, мы создаем человека».

К типовым требованиям к научно-технической продукции относят требования функциональные (показатели назначения), надёжности, технологичности, стандартизации и унификации, ограничения вредных воздействий (эргономичность и экологичность), эстетичность, экономичность, патентно-правовые. Требования к другим видам продукции во многом совпадают с перечисленными.

Системное проектирование.

К концу XX века не только существенно возросла сложность проектируемых объектов, но и их воздействие на общество и окружающую среду, тяжесть последствий аварий из-за ошибок разработки и эксплуатации, высокие требования к качеству и цене, сокращению сроков выпуска новой продукции.

Необходимость учёта этих обстоятельств заставляла вносить изменения в традиционный характер и методологию проектной деятельности.

При создании объектов их уже необходимо было рассматривать в виде систем, то есть комплекса взаимосвязанных внутренних элементов с определенной структурой, широким набором свойств и разнообразными внутренними и внешними связями. Сформировалась новая проектная идеология, получившая название системного проектирования.

Системное проектирование комплексно решает поставленные задачи, принимает во внимание взаимодействие и взаимосвязь отдельных объектов-систем и их частей как между собой, так и с внешней средой, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования. Системное проектирование основывается на тщательном совместном рассмотрении объекта проектирования и процесса проектирования, которые в свою очередь включают ещё ряд важных частей.

Системное проектирование должно базироваться на системном подходе. На сегодняшний день нельзя утверждать, что известен его полный состав и содержание применительно к проектной деятельности, однако можно сформулировать наиболее важные из них:

1. Практическая полезность:

деятельность должна быть целенаправленной, устремленной на удовлетворение действительных потребностей реального потребителя или определенной социальной, возрастной или иной групп людей;

деятельность должна быть целесообразной. Важно вскрыть причины, препятствующие использованию существующих объектов для удовлетворения новых потребностей, выявить вызывающие их ключевые противоречия и сконцентрировать усилия на решении главных задач;

деятельность должна быть обоснованной и эффективной. Разумным будет использование не любого решения задачи, а поиск оптимального варианта;

2. Единство составных частей:

целесообразно любой объект, сложный ли он или простой, рассматривать как систему, внутри которой можно выделить логически связанные более простые части — подсистемы, единство частных свойств которых и образует качественно новые свойства объекта-системы;

разрабатываемые объекты предназначены для людей, ими создаются и эксплуатируются. Поэтому человек также обязан рассматриваться в качестве одной из взаимодействующих систем. При этом должно приниматься во внимание не только физическое взаимодействие, но и духовно-эстетическое воздействие;

внешняя, или как её ещё называют — жизненная среда, также должна рассматриваться в качестве системы, взаимосвязанной с проектируемым объектом;

3. Изменяемость во времени:

учёт этапов жизненного цикла объекта;

учёт истории и перспектив развития и применения разрабатываемого объекта, а также областей науки и техники, на достижениях которых базируются соответствующие разработки [7].

Сегодня все, что помимо образного начала имеет еще и прикладной характер, — посуда, мебель, ткани, книги, вывески, вплоть до архитектуры — считается дизайном: промышленным, графическим, архитектурным и т.д. Но для человека разные «конкретные дизайны» отнюдь не равнозначны: помимо обязательных для жизни «пользы, прочности и красоты» он ищет от общения с дизайном нечто более высокое — гармонию взаимодействия с окружающей действительностью, согласованность мироощущений [1].

Появился новый тип проектной деятельности — дизайн среды, интегрирующий в единую функционально-художественную целостность достижения дизайнеров других специальностей, проектирующих оборудование, предметное оснащение, систему декоративно-графических решений и, в том числе, пространственную ситуацию. Кроме того именно среда, в конечном счете, является ареной работ по синтезу искусств. Становится понятно, почему дизайн среды имеет все права на роль завершающего звена общей системы работ по художественному проектированию [6].

... ключевое понятие — среда — образует смысловое ядро всех объединившихся под знаменем дизайна видов искусства «нечистого», т.е. связанного с двойным содержанием его произведений — художественным и практическим. Обозначая термином «среда» совокупность всех компонентов и ха-

рактических материально-пространственных и эмоционально-художественных условий существования человечества, мы включаем сюда, естественно, и самого человека. А значит, и свойственные ему феномены и нормы культуры — от их общечеловеческих слагаемых до проявлений личной культуры поведения и трудовой деятельности [1].

Анализ феномена «среда» как специфической категории проектирования показывает, что ее содержание и свойства определяются взаимодействием пяти как бы порождающих друг друга, но разнокачественных структур.

Изначальным, очевидно, является функциональное содержание средового объекта, те утилитарно-практические нужды, что обусловили его возникновение, и те эмоционально-художественные ожидания, которые соответствуют (должны соответствовать) реализации «заказанных» форм деятельности. Причем, как правило, даже в схожих случаях жизнь диктует набор будущих потребностей отнюдь не однозначно — могут разниться и их качество, и количество, и их сочетания.

Понятая таким образом функция среды приводит к становлению двух других относительно самостоятельных подсистем: объемно-пространственной базы (места, где реализуется потребность) и технологических условий (устройств) для ее реализации. Они, разумеется, связаны некоторыми общими параметрами (например, размеры и сочетания помещений повторяют габариты и последовательность технологических линий), но допускают вариантность ответов и в пределах каждой из структур, и в их совместной организации.

Обе структуры, как любое явление материально-физического мира, обладают специфическим чувственным воздействием, прежде всего — визуальной организацией (сочетания форм, цвета, света и тени, конфигурации, размеров и т.д.). И эта подсистема также имеет много вариантов: все ее слагаемые допускают массу модификаций, которые затем складываются в единственную для данного проекта комбинацию, попадающую к потребителю.

Так в пределах объекта, существующего как целое, возникает последняя и еще более непредсказуемая в своих проявлениях подсистема — восприятие среды человеком. Который, как известно, видит все в зависимости от своих личных способностей, настроения, уровня образования, от воспитавших его культурных традиций. Да и происходит восприятие среды по разным, внешне не связанным, хотя и взаимодействующим каналам — утилитарно-практическим, фиксирующим состояние комфорта или неудовлетворенности, и визуально-чувственным. Последние усугубляют те или иные эмоциональные ощущения, апеллируют к культурно-историческим, идейно-образным ассоциациям, т.е. формируют отношение потребителя к среде, оценивая ее. А значит, подсказывая, если нужно, разные переделки, коррекции средового состояния, в том числе за счет деформации любой из «базовых» подсистем.

То обстоятельство, что все пять структур могут осуществляться во множестве вариантов, обеспечивает автору-проектировщику широчайшую свободу выбора окончательного решения, даже если в конкретной ситуации отдельные подсистемы будут реализованы не полностью или не оптимально. Это скажется на «суммарном» качестве среды, но не нарушит законов ее строения и восприятия: все пять структур «работают» совместно и воздействуют на зрителя (потребителя) одновременно, как фактически существующее и одновременно воспринимаемое единство.

Эти законы определяют главное свойство, главную характеристику среды — целостность. Но так как в восприятии и оценке средового объекта задействованы все пять подсистем, каждая из которых связана с потребителем по-своему, то следующей отличительной чертой среды является ее комплексность, многофакторность, сложность и строения, и способа воздействия на человека. Отсюда третье свойство средовых систем — динамичность, понимаемая как диалектика взаимодействия постоянно и по-своему изменяющегося состояния разных подсистем среды.

Изложенная последовательность упоминания структурных слагаемых среды довольно условна. В проекте становление целого может зависеть от трансформации любого звена в приведенной цепочке, и тогда вся лестница проектных приоритетов перестраивается. Например, при реабилитации среды ее исторически обусловленные визуальные ценности

оказываются важнее существующей функции, заставляя дизайнера «подбирать» новое назначение, лучше соответствующее сохраняемой в неприкосновенности оболочке; в проектах праздничной

среды архитектурно-пространственная структура улицы отступает на второй план по сравнению с задачами ее декоративного убранства и т.д.

Другими словами, изначально сущностное качество среды — целостность — позволяет при проектировании делать любую из подсистем главной, определяющей особенности проработки остальных, ей в данном случае подчиненных [6].

Среда как объект проектирования представляет дизайнеру уникальную возможность прочувствовать и освоить целый спектр взаимосвязанных категорий. Рассмотрение каждой из них невозможно без осмысления целого, а это особенно ценно для вузовской подготовки дизайнера. Проектный анализ и системный подход, комплексное проектирование и совместная работа с другими специалистами, разработка концепций и составление программ, сценарное моделирование ситуации и художественный синтез — эти и другие формы работы в современном дизайне необходимы для проектирования среды. К тому же единственной мерой ее оптимальности всегда остается человек, что также соответствует назначению дизайнерской деятельности.

Дизайн среды в полном смысле возникает лишь при осмыслении человека в пространстве в реальном действии, для чего среда должна обладать эмоциональной информативностью, «отзывчивостью» по отношению к человеку. Именно в этой ситуации деятельность дизайнера как специалиста, участвующего в формировании среды жизнедеятельности человека, очень велика. Недостаточно «насытить» существующую или проектируемую пространственную ситуацию оборудованием, назначение которого — удовлетворение функциональных и эстетических потребностей человека, должна быть создана предметно-пространственная среда полифонического звучания, обладающая возможностью развития во времени и пространстве, гармоническая по отношению к человеку во всех проявлениях его жизнедеятельности [2].

Один из вариантов осмысления среды как объекта проектной деятельности предлагает профессор Сергей Владимирович Курасов — сценарное моделирование ситуации: «Любая тематика предполагает наличие какого-то игрового начала в том, как человек живет в той или иной среде. То есть образ человека, присутствующего в конкретной среде, зависит от сценария, который студент-художник должен спроектировать под определенное задание. Сценарий — это и режиссура, что предполагает четкое представление о том, куда человек пришел, куда вышел, что он там будет делать, в какой одежде, для чего, и пр. От этого зависит средовое окружение и весь предметный мир. В качестве примера рассмотрим проект горного модуля. Там тоже был разработан свой сценарий. Сначала студенты придумали сценарий и режиссуру о... человеке. О том, сколько у него багажа, один он или это группа людей, какая это группа людей, как они доставляются в горы — на вертолете или своим ходом, что это за горы и из каких пород они могут состоять, да и вообще, горы это или песочные барханы» [2].

Такой подход к дизайн-проектированию требует наличия навыков системного анализа.

Особенностью системного является ориентация на весь комплекс проблем, возникающих при изучении системного объекта: от вербального описания до построения формальных моделей с учетом взаимосвязи его материально-функциональных и социокультурных элементов. Системный подход — часть мировоззренческой позиции, которая видит мир как некую систему со своей иерархией ценностей и связей, чему соответствует философское понятие «дома» как цельного построения модели мироустройства.

Объектом системного анализа являются предметно-пространственные системы разного уровня, на которые влияют такие факторы, как экономика, социология, экология, технический уровень развития производства, психология и т.д.; а их взаимодействие определяет функциональная организация.

Для дизайнерского системного анализа характерен метод исследования проблем по аспектам: содержательное описание, связанное с выявлением особенностей объекта как функционально-пространственной системы; моделирование функционально-пространственной организации; образный строй; оптимизация функциональных и структурных предложений, выбор правильного решения в условиях неопределенности с помощью человеко-машинных процедур; прикладные (частные) задачи, исследования.

Сложность системы определяется не столько количеством ее элементов, сколько качеством (особенностями) взаимосвязей между ними, пониманием того, что приобретает система как целое по сравнению со свойствами ее отдельных элементов. Приобретение системой новых свойств — цель и

результат работы по системному анализу, причем признаками новой целостности являются сбалансированность и связность всех элементов системы. Завершением системного подхода в дизайне является построение проекта системного объекта [1].

Развитие системного мышления для дизайнера в настоящее время является ключом к решению многомерных междисциплинарных задач. Вот как описывает системное мышление Сычев И.А.:

Понятие «системное мышление» получило широкую известность среди зарубежных специалистов в различных отраслях, связанных с применением идей системного подхода на практике, в последние три десятилетия. Тем не менее, до сих пор сложно найти достаточно строгое определение этого понятия. Большую известность, например, получило не вполне строгое определение, предложенное в работе, посвященной использованию системного мышления в сфере образования Р. Сенге: «Системное мышление - это способность понимать (и иногда предсказывать) взаимодействия и отношения в сложных, динамических системах: тех системах, которыми мы (педагоги) окружены и в которые мы включены».

Системное мышление - это мышление, в процессе которого человек рассматривает предмет мыслительной деятельности как систему, выделяя в нем соответствующие системные свойства и отношения, обнаруживая и учитывая проявления общих системных принципов и закономерностей [3].

Не каждый человек обладает навыками системного мышления, и для использования системного подхода к проектированию нужно применять различные методы-фильтры интерпретации средовой ситуации.

Например, представив процесс проектирования как создание сценария поведения человека в среде, или взаимодействия среды и человека во временной перспективе.

Проектирование с использованием сценариев широко используется в разработке программного обеспечения.

В 1986 году Ивар Якобсон, позже соавтор Унифицированного Языка Моделирования (UML) и Рационального Унифицированного Процесса (RUP), впервые сформулировал методику визуального моделирования для описания сценариев использования. Первоначально он использовал несколько иные термины — англ. *usage scenarios* и *usage case*, но ни один из них не был естественным для английского языка. И в конечном счете он остановился на термине *use case* — сценарий использования.

Сценарий использования, вариант использования, прецедент использования (англ. *use case*) — в разработке программного обеспечения и системном проектировании это описание поведения системы, когда она взаимодействует с кем-то (или чем-то) из внешней среды. Система может отвечать на внешние запросы Актёра (англ. *actor*), может сама выступать инициатором взаимодействия. Другими словами, сценарий использования описывает, «кто» и «что» может сделать с рассматриваемой системой, или что система может сделать с «кем» или «чем». Методика сценариев использования применяется для выявления требований к поведению системы, известных также как пользовательские и функциональные требования.

Цели сценариев использования.

«Каждый сценарий использования сосредотачивается на описании того, как достигнуть цели или задачи. Для большинства программных проектов это означает, что потребуется множество сценариев использования, чтобы определить необходимый набор свойств новой системы. Степень формальности программного проекта и его стадии будет влиять на необходимый уровень детализации, для каждого сценария использования.» Сценарии использования не должны путаться с понятием свойств системы (англ. *Feature*). Сценарий использования может быть связан с одним или более свойствами системы, и свойство может быть связано с одним или более сценарием использования.

Сценарий использования определяет взаимодействия между внешними агентами и системой, направленные на достижение цели. Актёр (англ. *Actor*) представляет собой роль, которую играет человек или вещь, взаимодействуя с системой. Тот же самый человек, использующий систему, может быть представлен как различные актеры, потому что они играют различные роли. Например, «Джек» может играть роль Клиента, использующего Банкомат, чтобы забрать наличные деньги, или играть роль Работника Банка, использующего систему для пополнения банкомата купюрами.

Сценарии использования рассматривают систему как «черный ящик», и взаимодействия с системой, включая системные ответы, описываются с точки зрения внешнего наблюдателя. Это преднаме-

ренная политика, потому что это вынуждает автора сосредоточиться на том, что система должна сделать, а не как это должно быть сделано, и позволяет избегать создания предположений о том, как функциональные возможности будут реализованы.

Бизнес-сценарий использования не затрагивает технологий, а рассматривает систему как «черный ящик» и описывает бизнес-процесс, который используется бизнес-актерами (людьми, или системами, внешними к бизнесу) для достижения своих целей (например, обработка оплаты, одобрение авансового отчета, управляет корпоративным недвижимым имуществом). Бизнес-сценарий использования описывает процесс, ценный для бизнес-агента, описывает что именно делает процесс.

Системный сценарий использования обычно описывается на уровне функций системы (например, создайте ваучер) и определяет функцию или сервис, предоставляемые системой для пользователя. Системный сценарий использования описывает, что актер может сделать, взаимодействуя с системой. По этой причине рекомендуется, чтобы системные случаи использования начинались с глагола (например, создайте ваучер, выберите платежи, отмените ваучер).

Сценарий использования должен:

1. Описывать, что именно система должна сделать, чтобы актер достиг своей цели.
2. Не затрагивать деталей реализации.
3. Иметь достаточный уровень детализации.
4. Не описывать пользовательские интерфейсы и экраны. Это делается во время дизайна пользовательского интерфейса.

Алистер Коберн в книге «Написание эффективных сценариев использования» выделил три уровня детализации сценариев использования:

Краткий сценарий использования состоит из нескольких предложений. Он может быть легко вставлен в ячейку электронной таблицы, позволяя записать в соседних столбцах приоритет, продолжительности, техническую сложность и другие параметры. Обычный сценарий использования состоит из нескольких параграфов текста, подытоживающих сценарий использования. Полностью детализированный сценарий использования - формальный документ, основанный на подробном шаблоне с различными разделами. Именно этот вариант подразумевается в большинстве случаев под понятием сценария использования.

Также дизайнеру можно обратить внимание на такой метод описания задач программирования, как пользовательские истории (англ. User Story) — способ описания требований к разрабатываемой системе, сформулированных как одно или более предложений на повседневном или деловом языке пользователя. Пользовательские истории используются гибкими методологиями разработки программного обеспечения для спецификации требований (вместе с приемочными испытаниями). Каждая пользовательская история ограничена в размере и сложности. Часто история пишется на маленькой бумажной карточке. Это гарантирует, что она не станет слишком большой. В Экстремальном программировании пользовательские истории пишутся пользователями (заказчиками) системы. Для заказчиков (пользователей) пользовательские истории являются основным инструментом влияния на разработку программного обеспечения.

Хотя пользовательские истории и сценарии использования служат единой цели документирования пользовательских требований с точки зрения взаимодействия между пользователем и системой, между ними есть различия.

Пользовательские истории — это небольшое и удобное в работе представление информации. Они сформулированы на ежедневном языке пользователя и содержат небольшие детали, таким образом оставаясь открытыми для интерпретации. Они помогают читателю понимать что должна делать система.

Сценарии использования, в отличие от пользовательских историй, описывают процесс и его шаги подробно, и могут быть сформулированы с точки зрения формальной модели. Сценарий самодостаточен. Он обеспечивает всю необходимую информацию и детали для понимания. Сценарий описывается как «обобщенное описание ряда взаимодействий между системой и одним или более агентами, где агент — пользователь или другая система».

Сценарии и требования, как основы проектирования

Персонажи позволяют получить четкое представление о пользователях и их целях, необходимо использовать эти знания для построения решений, которые будут радовать и вдохновлять пользователей, при этом удовлетворяя задачи бизнеса и укладываясь в технические ограничения. Для получения искомых проектных решений предлагается использовать следующие виды деятельности: создание сценариев, как средства описания идеального для пользователя взаимодействия; использование этих сценариев для выработки требований; определение на основе этих требований инфраструктуры взаимодействия для продукта и пошаговое наполнение этой структуры все более детальными решениями.

Рассмотрим три типа сценариев, основанных на персонажах и используемых на различных этапах проектирования, ориентированного на цели.

1. Контекстные сценарии создаются до начала проектирования, пишутся с точки зрения персонажа, сосредоточены на человеческих действиях, впечатлениях и желаниях, позволяют определить, как продукт может наилучшим образом послужить потребностям персонажей.

2. Сценарии ключевого пути появляются в результате пересмотра контекстных сценариев, путем добавления к ним более подробных описаний взаимодействия пользователя с продуктом, при написании используется проектный лексикон.

3. Проверочные сценарии используются для тестирования проектных решений в различных ситуациях, обычно имеют форму набора вопросов: "а что, если...?", касающихся предложенных решений.

Деятельность по выработке требований на основе сценариев предполагает четкое определение потребностей человека и бизнеса, которые должен удовлетворять продукт. Ориентация на удовлетворение требований позволяет проектировщику создавать мощный и привлекательный продукт, дает максимальную гибкость в условиях постоянно меняющихся технологических возможностей и ограничений.

Рассмотрим процесс формирования требований к продукту на основе персонажей и сценариев.

Шаг 1: Постановка задачи и определение образа продукта.

Создание надежного основания для процесса проектирования. Постановка задачи определяет цель самого проектирования, кратко отражает ситуацию, требующую изменения, как с точки зрения персонажей, так и с точки зрения бизнеса, который создает для этих персонажей продукт. Определение образа продукта ставит на первое место потребности пользователей, показывает, как благодаря удовлетворению этих потребностей достигаются бизнес-цели. Сводка целей пользователей и испытываемых ими сложностей в виде постановки задачи и определения образа продукта помогает достичь взаимопонимания внутри команды и привлечь ее внимание к приоритетам предстоящего проектирования.

Шаг 2: Мозговой штурм.

Смысл данного шага в том, чтобы извлечь идеи о персонажах и их желаниях в отношении взаимодействия с продуктом, избавить проектировщиков от предубеждений, дать возможность открыто и гибко работать над созданием сценариев, задействуя свое воображение и применяя свои аналитические способности для извлечения требований из этих сценариев.

Шаг 3: Выявление ожиданий персонажей.

Ожидания пользователей являются важным источником требований. Для каждого ключевого или второстепенного персонажа необходимо выявить:

- Взгляды, опыт, устремления, а равно и другие социальные, культурные, физические и когнитивные факторы, влияющие на ожидания персонажа.
- Общие ожидания и желания, которые может иметь персонаж в связи с использованием продукта.
- Ожидаемое или желаемое персонажем поведение продукта.
- Что персонаж думает о базовых единицах информации (скажем, в приложении для электронной почты базовой единицей информации будет сообщение или корреспондент).

Шаг 4: Разработка контекстных сценариев.

Контекстные сценарии сконцентрированы вокруг деятельности персонажа, его ментальных моделей и мотивов, описывают широкий контекст, в котором проявляются шаблоны использования, и включают информацию о среде использования и об организационных вопросах. При создании контекстных сценариев необходимо основное внимание уделить тому, как проектируемый продукт может наилучшим образом помогать персонажам в достижении их целей. Именно здесь начинается проектирование.

Контекстные сценарии устанавливают основные точки соприкосновения каждого ключевого и второстепенного персонажа с проектируемой системой (возможно, и с другими персонажами посредством системы) в течение дня или иного осмысленного промежутка времени.

Шаг 5: Выявление требований.

На основе анализа контекстного сценария можно получить потребности персонажей – требования, которые могут включать в себя объекты, действия и контексты. Рассмотрим группы требований:

- Информационные требования отражают потребности персонажей в информации, которую должна предоставлять система. Можно считать информационные требования объектами и прилагательными, связанными с этими объектами.
- Функциональные требования – это операции или действия, которые должны выполняться с объектами системы и которые, как правило, реализуются в виде интерфейсных элементов управления. Функциональные требования можно считать действиями продукта. Кроме того, функциональные требования определяют места или контейнеры, с помощью которых объекты или данные отображаются пользователю.
- Требования бизнеса могут включать в себя сроки разработки, стандарты, структуры ценообразования и бизнес-модели.
- Требования бренда и опыта пользователей отражают характеристики опыта, который в идеальном случае пользователи и клиенты связывали бы с вашим продуктом, компанией или организацией.
- Технические требования могут включать в себя ограничения по весу, размеру, форм-фактору, свойствам дисплея, энергопотреблению, а также по выбору программной платформы.
- Требования покупателей и партнеров могут включать в себя простоту установки, обслуживания, настройки, стоимость поддержки лицензионные соглашения.

Процесс выявления требований является итерационным и, скорее всего, шаги с третьего по пятый придется выполнить несколько раз, прежде чем требования станут устойчивыми.

После выполнения всех действий должно появиться приблизительное описание того, как продукт поможет пользователям достигать своих целей, которое содержит контекстные сценарии и перечень основных требований. На построенной базе можно рассматривать детали поведения продукта и формировать инфраструктуру взаимодействия [4].

Литература

1. Дизайн. Иллюстрированный словарь-справочник / Под общей редакцией Г.Б. Минервина и В.Т. Шимко. М.: «Архитектура-С», 2004.
2. Журнал "Технологии строительства". 2003. №5.
3. Сычев И.А. Развитие системного мышления студентов в процессе моделирования информационных образовательных ресурсов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.
4. Березовская Ю., Латухина Е., Носов К., Юфрякова О. Академия Intel: Разработка приложений для смартфонов на ОС Android.
5. Папанек В. Дизайн для реального мира / 4-е издание. 2012.
6. Шимко В.Т. Основы дизайна и средовое проектирование: Учеб.пособие. М.: Издательство «Архитектура-С», 2004.
7. Сидоров А.И. Основные принципы проектирования и конструирования машин. М.: Макиз, 1929. 428 с.

СОВРЕМЕННЫЕ РОССИЙСКИЕ СМИ И НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ: В ПОИСКЕ ДИАЛОГА

АНИКИНА Мария Евгеньевна

кандидат филологических наук, факультет журналистики
МГУ имени М.В. Ломоносова

Наука в современном обществе

В современных исследованиях можно обнаружить самые разные подходы к определению науки, среди них обращают на себя внимание следующие интерпретации и описания:

- наука как система знаний;
- наука как деятельность;
- наука как социальный институт (социология науки);
- наука как основа инновационной системы;
- наука как элемент культуры;
- наука как специфическая форма жизни;
- наука как система ценностей [11].

Для осмысления существующего в социуме представления о науке и анализа публикаций СМИ о науке наиболее точным становится определение, формулируемое с учетом социального значения научной деятельности, поскольку журналистику интересуют социальные факты, наука неизбежно предстает в СМИ как социальный институт.

Трудности взаимодействия ученых и представителей других групп современного общества могут порождать различные виды и формы конфликтов, опасные для развития науки. Можно говорить о несоответствии ценностей и норм, значимых для разных групп общества, когда, например, скептицизм ученого направляется на ценности представителей других профессиональных групп.

Кроме того, возможно видеть потенциальные конфликты, связанные с *публичными* образами науки – «образами того, что наука кажется делающей с людьми и для людей». В этом ряду достаточно опасным становится массовое негативное восприятие науки, ее негативная оценка. Эксперты отмечают, что нередко новые технологии и оборудование оказывают негативное влияние на репутацию науки и на ее дальнейший прогресс, поскольку меняют социальный распорядок, подстегивают темпы, создавая напряжение [8].

Также свою отрицательную роль могут сыграть действия общественных институтов, заимствующих и использующих авторитет и престиж науки. Известно, что научная популяризация вполне может подготовить массовое сознание к восприятию «эзотеричных» сущностей, использующих близкий научному язык самопрезентации. Поскольку обычный, неподготовленный потребитель информации часто затрудняется в понимании текстов, не может проверить достоверность полученных сведений, расширяется пространство недоверия собственно научной деятельности.

Для поступательного развития науки необходимо создание ряда условий и поддержание определенного контекста. Во-первых, необходимо обеспечить независимость науки от возможного вмешательства со стороны различных общественных сил и от применения к науке ненаучных критериев, ставящих под сомнение ценность и честность научной информации. Во-вторых, нужно акцентировать внимание на благоприятных последствиях использования технологий, разработанных наукой, для общества и его развития, формировать так называемый социальный капитал науки. Для этого нужно обеспечить нормальное функционирование информационных потоков, создавать позитивный сбалансированный образ ученого и научной деятельности в общедоступных источниках информации.

Популяризация науки: тенденции и форматы

Наука в массовых коммуникациях существует, прежде всего, как научная популяризация, проявляющая себя сегодня во множестве форматов – в виде широко известных образцов научно-

популярной литературы и журналистики, в виде научных фильмов, выставок, музеев науки, в формате публичных лекций, научных кафе и научных боев, фестивалей и дней науки.

При этом очевидно, что язык привлекательного научно-популярного текста может в большей степени сформироваться на основе общелитературного языка, а не на основе научной речи, особенно если речь идет о детской и подростковой аудитории. Развивающееся информационное общество делает все более актуальным поиск невербальных форматов взаимодействия ученых и их потенциальной аудитории, требует от посредников – массмедиа – активного освоения новых средств передачи смысла. Поэтому значительную роль в популяризации научного знания сегодня играют визуальные средства, помогающие наглядно объяснить сложную идею, суть научного открытия. В научно-популярной литературе чаще всего используются иллюстрации четырех видов: научно-понятийные, художественно-образные, документальные, комбинированные [9], расширяется и спектр видов научной фотографии, привлекающей внимание аудитории, сформировавшейся в условиях перехода к визуальной культуре восприятия информации.

Для успешной работы в рамках профессии научного популяризатора существуют ценностные основания – принципы профессионально грамотной популяризации науки. Отечественный исследователь Э.А. Лазаревич в своих работах выделяла четыре основных принципа: 1) научная глубина, 2) осмысление материала, 3) доступность и 4) занимательность изложения [6]. М.В. Загидуллина, представляющая челябинскую школу медиаисследований, выделяет следующие основы профессиональной культуры научного журналиста: 1) редуцирование сложного научного явления до некоторой формулы, общего представления; 2) использование бытовой, знакомой читателю аналогии; 3) эмоциональное отношение к научному явлению, открытию, научной деятельности; 4) вынесение практического прогноза, выявление практической значимости научного события; 5) информационная поддержка научного сообщества, продвижение науки до читателя; 6) мастерство изложения материала [4].

В медиaprостранстве существует самостоятельный сегмент, состоящий из ресурсов, транслирующих научную информацию и включающий научно-теоретические, научно-практические, научно-методические, научно-исследовательские, научно-технические, научно-производственные, научно-информативные, научно-педагогические журналы [5]. Вместе с тем достаточно широк сегмент смежных изданий, которые имеют более узкую целевую аудиторию и сходную тематику. Это познавательные журналы для детей, активно способствующие образованию и социализации представителей нового поколения; специализированные ресурсы – туристические, журналы о здоровье, издания для автолюбителей; отраслевые и корпоративные издания.

Среди СМИ, затрагивающих тему науки, **для массовой аудитории** пишут научно-популярные издания: собственно научно-популярные журналы и – напριме –, трэвел-журналы. По характеру информации можно выделять полидисциплинарные и монодисциплинарные (тематически-специализированные), в группе естественно-научных описывать и изучать физико-математические астрономические, химические, медицинские, сельскохозяйственные, ветеринарные, географические и другие [10]. Отдельную подгруппу формируют журналы о животных – их особенность в том, что они ориентируются в основном только на детскую и подростковую аудиторию [12]. Издания разного типа существуют и в группе технических – часть из них имеет довольно широкий тематический охват, часть затрагивает вопросы развития технологий, конструирования и моделирования, авиации и космонавтики, радиотехники и проч. В свою очередь гуманитарные ресурсы делятся на исторические, философские, филологические, психологические, экономические, юридические, педагогические, искусствоведческие, архитектурные, военные, социологические, политические, культурологические.

Взаимодействие массмедиа и науки как общественный процесс

Социально ориентированный подход к изучению роли СМИ в интерпретации общественного пространства можно обнаружить в работах американского исследователя и журналиста У. Липпмана, которому принадлежат слова о «фотографиях в наших головах» как о реальности, создаваемой средствами массовой информации [7]. Отчасти в этой же системе координат можно рассматривать и современные исследования процесса «освоения» социального пространства медиаресурсами как средства критического анализа взаимосвязи медиасистемы и общества в широком смысле этого слова.

Вслед за европейскими экспертами в данной области предлагаем понимать *медиатизацию* как *двусторонний процесс, в рамках которого взаимное влияние друг на друга оказывают массмедиа и различные сферы общественной жизни*. При этом представляется важным, что данный процесс охватывает и описывает укрепляющееся взаимодействие между средствами массовой коммуникации, современной культурой и обществом в целом. Заметим, что современные массмедиа способны изменять внутреннюю логику существования и функционирования различных социальных институтов. Подобное влияние, еще несколько десятилетий назад казавшееся невозможным, актуализируется в наши дни, поскольку сегодня, как никогда ранее, СМИ и журналисты способны создавать пространство для общественной дискуссии и рефлексии относительно необходимости и уместности тех или иных социальных практик и направлений деятельности. Следовательно, массмедиа могут также формулировать вопрос о возможности сокращения не актуальных для общества видов деятельности и косвенно способствовать его решению. Кроме того, средства массовой коммуникации становятся сегодня неотъемлемой частью различных социальных институтов, встраиваются в систему функционирования организаций образования, науки, религии, политики и проч. [1]. В случае с медиатизацией научной деятельности примером может стать функционирование служб по связям с общественностью и пресс-служб образовательных центров и научно-исследовательских организаций. Подобные структуры призваны осуществлять взаимодействие представителей научного сообщества и широкой общественности, способствовать формированию образа науки в общественном мнении, косвенно содействовать просвещению населения и повышению уровня научной грамотности представителей различных социальных групп.

Процесс освещения научной деятельности и научного знания современными средствами массовой коммуникации можно назвать одним из наиболее интересных с исследовательской точки зрения и значимых для поступательного развития общества. Он привлекает активное внимание специалистов в области связей с общественностью, научной коммуникации, обществоведов и социологов. Можно отметить, что данное пространство наиболее активно осваивается зарубежными исследователями. Тем не менее, существуют отечественные примеры экспертной рефлексии в данной сфере. В частности, это касается представлений о науке и научной деятельности, бытующих в сознании молодых ученых. Ссылаясь на опыт отечественного исследователя А.М. Аблажея, подчеркнем, что в создании положительного образа науки в аспирантской среде и сообществе молодых ученых определяющую роль могут сыграть не только внутринаучные, связанные с получением нового знания ценности, но социокультурные факторы, влияющие и на функционирование науки в социуме в целом [2]. Также очевидно, что зачастую информацию о том, что представляет собой современная наука, и сведения о ее социальном статусе общество в целом получает в основном из средств массовой информации, что – возможно – еще более значимо с точки зрения процесса медиатизации науки.

Различные проекты в данной области, реализуемые в последнее время на факультете журналистики МГУ имени М.В. Ломоносова, дополняют корпус существующих работ, позволяют точнее определить разновидности научных изданий, систематизировать многообразие телевизионных программ о науке, обсуждать функциональное своеобразие журналистских текстов научной тематики, делать выводы о специфике российского научного медиаконтента, определять черты научной культуры российских журналистов как элемента их общей профессиональной культуры, наконец, они позволяют строить предположения относительно возможных эффектов медиатизации науки в современном обществе. Отдельным направлением исследовательской, педагогической и организаторской деятельности становится осмысление широких социальных процессов, связанных изучением процесса и системы научной коммуникации, взаимодействия общества, науки и массмедиа. Это направление реализуется в частности в рамках продолжающегося проекта научно-исследовательских работ по теме «Медиатизация науки в обществе знаний», инициированного факультетом журналистики МГУ имени М.В. Ломоносова в 2013 г.

Полноценный анализ процесса медиатизации научной сферы затруднен без внимательного изучения характеристик основных субъектов данного процесса – журналистов и ученых. Потенциально наиболее перспективным представляется осмысление профессиональной деятельности журналиста в данном поле. Существование особых, специфических навыков журналистов, работающих в пространстве научной и научно-популярной журналистики, достаточно часто становится предметом дискуссии в экспертных кругах. Тем не менее, постановка вопроса о необходимости формирования профессио-

нальной культуры представляется возможной, актуальной и целесообразной. Кроме того, она находит сторонников среди российских ученых.

Западный опыт рефлексии относительно работы научных журналистов представляет теоретические обобщения, связанные со спецификой функционала (профессиональных ролей и направлений их реализации) научного журналиста. В частности подобного рода исследования содержат описания ролей координатора, куратора и критика. В первом случае речь может идти о медиaprofессии, организуя общественной дискуссии с привлечением представителей научного сообщества, посвященные различным аспектам научной деятельности. При этом координационная деятельность журналистов оказывается возможной как собственно в медийном, так и в широком социальном пространстве. Особенности профессиональной деятельности журналиста-куратора связаны со сбором и анализом различных фрагментов научной информации (новостей, мнений, комментариев и проч.), а также с последующей систематизацией этой информации для массовой аудитории. Наконец, профессиональная роль критика заключается в грамотной интерпретации полученной от экспертов информации, в критическом осмыслении социальной природы научных фактов и представлении пояснений и интерпретаций аудитории массмедиа¹. Третья из перечисленных функциональных ролей актуализируется в том случае, когда массмедиа становятся пространством экспертизы различных идей, местом развенчания лженаучных концепций.

Исходя из представленного выше, можно сделать вывод об актуальности и общественной значимости научного изучения отдельных сегментов медиaproстранства с использованием различных научных подходов.

Образ науки в современных российских СМИ

Сегодня существует достаточное количество работ теоретического и теоретико-прикладного характера, посвященных обзору и анализу структуры научной информации в современных массмедиа. Можно обнаружить проекты, посвященные систематизации совокупности информационных ресурсов научной тематики, классификации специализированных изданий и проч. Однако представляется социально значимым рассмотреть не только специализированный контент, адресованный заинтересованному и относительно осведомленному потребителю информации, но и фрагменты массовой информации, предлагаемые вниманию среднестатистического читателя, слушателя, зрителя.

Общий обзор результатов анализа содержания ряда федеральных изданий, начатого на кафедре социологии массовых коммуникаций факультета журналистики МГУ имени М.В. Ломоносова в 2014 году, дает основания говорить о том, что образ науки можно в целом охарактеризовать как нейтральный и скорее позитивный, он строится значительным образом на оперативной, событийной информации².

Возможно говорить о многоаспектном освещении научной деятельности, фиксировать тот факт, что достаточно часто предметом обсуждения в журналистских публикациях становятся правовые и юридические аспекты научной деятельности и научные достижения. В частности контент-анализ публикаций «Российской газеты» в 2014 году показал, что наиболее часто предметом журналистского внимания становятся институциональное взаимодействие и регулирование науки (93,7%) и собственно научная деятельность, презентация результатов, процесса исследования (57,6%). В то же время обсуждения философских, социальных основ научной деятельности, общественного значения науки, а также внеакадемической деятельности ученых в области популяризации науки и гражданской активности ученых нечасто появляются на страницах издания (в 5,1% и 6,3% случаев - соответственно).

Очевидно, что процесс реформирования научной сферы, продолжающийся в России, в значительной степени определяет характер публикаций ежедневных массмедиа, особенно в таком официальном издании, как «Российская газета». В этой ситуации не столько проявляется процесс медиатизации научного знания как широкая социальная тенденция, сколько реализуется информационная функция СМИ, вследствие чего исследователи могут обнаружить зримое влияние внешней по отноше-

¹ Этой проблематике посвящены частности, профессора Деклана Фэй.

² Вывод о положительном образе науки можно назвать промежуточным, требующими дополнительной верификации на более представительном массиве журналистских текстов.

нию к СМИ повестки на контент конкретных изданий. Однако следует отметить, что недостаток внимания к внутренней природе научной деятельности, нехватка публикаций о популяризаторских начинаниях и проектах может способствовать снижению уровня общественного интереса и доверия к науке и ученым.

Актуальность вопросов регулирования деятельности научного сообщества для журналистов обнаруживает себя и при анализе уровня рассмотрения проблемы – в СМИ часто представлены крупные социальные образования, тексты содержат рассуждения на уровне социальной организации и общества в целом. Такая черта процесса медиатизации, как персонификация дискурса, наиболее очевидная в политической сфере, практически не находит яркого воплощения в публикациях федеральных изданий о науке – лишь немногим более десятой части публикаций «Российской газеты» (13,3%) рассказывают о личности ученого, представляют отдельного человека. Можно назвать данное направление медиатизации науки ослабленным. Примечательно также, что специфика научной деятельности практически не отражена в журналистских текстах – об объединениях, превышающих контактную группу (конкретных кафедрах сообщества ученых и проч.) рассказывают только 11,4% публикаций о науке, научные группы, сотрудники конкретных лабораторий и исследовательских центров появляются еще реже (в 7,6% случаев), оказываясь практически изъятными из информационного потока. Подобное положение вещей можно оценить в целом достаточно негативно, поскольку за общими – и порой довольно абстрактными – суждениям, за официальной «повесткой» легко скрывается исследовательская «кухня», человеческое измерение научной работы, способное привлечь представителей массовой аудитории и укрепить положительный образ ученого.

Из широкого разнообразия существующих научных школ и научных направлений представители редакций чаще выбирают технические науки, что усугубляет неравномерность формирования информационно-коммуникативного пространства и приводит к созданию несколько искаженных представлений массовой аудитории о науке. Но вместе с тем, более внимательное отношение журналистов к разработкам, имеющим практическое назначение, может стать препятствием для распространения лженаучных концепций.

Анализ авторского состава публикаций «РГ» о науке показывает, что в большинстве случаев авторами публикаций являются журналисты – 91,8% изученных текстов созданы сотрудниками редакции. По этому показателю тексты научной тематики очень похожи на значительную часть журналистских материалов и еще раз подтверждают тезис о монополии журналистского сообщества на распространение нового знания. Можно также подчеркнуть, что в ситуации с публикациями о науке и научной деятельности актуализируется потребность в специализированной подготовке медиапрофессионалов и (или) организации совместной работы журналистов и ученых, что поможет избежать неадекватного отражения научной работы в медиaprостранстве.

Помимо описанных выше ролей журналистов, работающих с научной информацией, эксперты предлагают различные классификации функциональных ролей ученых в публичном пространстве. Специальный анализ социальной роли ученого в публикациях ежедневной прессы в 2014 году не позволяет сделать принципиально новых выводов. В половине изученных случаев (53,3%) герой текста становится *экспертом*, чуть более четверти журналистских публикаций представляют администратора от науки, координирующего научную деятельность. Образ ученого иногда дополняется его разговором о его педагогических талантах и способностях. И – вопреки ожиданиям, основанным на реальных фактах, *гражданская ипостась* героя-ученого практически не представлена на страницах официальных изданий. Протесты российских ученых против реформирования отечественной науки проникают в повестку дня только на уровне тематики публикаций, но не находят воплощения в особенностях создания образа героя журналистских публикаций.

Эффекты медиатизации науки, как было отмечено ранее, возможно обнаружить в различных сферах – в области сознания и в области поведения людей. С точки зрения значимости медиарепрезентации науки как социального института и сферы деятельности, учитывая географическую специфику России, представляется важным обратиться к географии науки на страницах СМИ. Делая это, мы пытаемся ответить на вопрос о сбалансированности образа науки, о возможном восприятии деятельности ученых в отдельных регионах страны и мира. Можно также пытаться определить, насколько справляются журналисты с задачей освещения научной проблематики, в какой степени федеральная

пресса отражает отдельные аспекты актуальной научной действительности в рамках конкретной и за ее пределами. Исходя из повестки российской ежедневной прессы можно ожидать большей информированности аудитории и новостях и достижениях отечественной науки, которым посвящено подавляющее большинство текстов (83%).

Необходимо заметить, что специфика профессиональной деятельности журналиста формируется под влиянием множества факторов, на эмпирическом уровне можно фиксировать различия в процессе и результатах журналистской деятельности по освещению различных отраслей научного знания. В то же время проводимые исследования позволяют констатировать частую монополизацию журналистом права на передачу информации, недостаточно активное использование различных источников научной информации, отсутствие продуктивного взаимодействия журналистов и ученых. Вследствие этого возрастает опасность неадекватного информирования аудитории о научных разработках, формирования искаженного образа науки в массовом сознании и распространения лженаучной информации. Определение существующих трудностей в процессе медиатизации научного знания приводит к выработке рекомендаций представителям редакций и научно-исследовательских коллективов, к формулировке принципов профессиональной культуры научного журналиста, в числе которых оказываются общее мастерство изложения материала, поддержка научного сообщества информационными средствами, выявление практического значения представляемых материалов и др.

Выявляемые в ходе эмпирических исследований особенности медиатизации науки отчасти поясняют затруднения в понимании отдельных научных положений представителями разных групп российского общества и снижение научной грамотности населения, открывают перспективу для дальнейшего изучения данной сферы – с одной стороны, и более активной деятельности различных социальных субъектов – с другой.

При этом поиск наиболее удачных случаев организации массового информационного взаимодействия ученых, популяризаторов науки, журналистов и общества в целом возможен не только в сегменте специализированных СМИ, посвященных осмыслению научной деятельности, но и в пространстве общедоступных универсально тематических изданий федерального уровня, предлагающих рассказ о научной деятельности и достижениях для различных групп аудитории. Примером подобного вполне удачного авторского решения, на наш взгляд, может быть история Санкт-Петербургского Клуба космонавтики им. Гагарина, опубликованная в различных изданиях, в том числе – в «Российской газете» летом 2015 года [3] и адресованная читателям младших возрастных групп.

Литература

1. *Hjarvard Stig* Mediatization and cultural and social change: an institutional perspective. 2014.
2. *Аблажей А.М.* Наука как сконструированный образ // Вестник НГУ. Серия 10: Философия. 2009. Том 7. Выпуск 1. С. 83-89.
3. *Безрукова Л.* Мышенавт Шум в космосе // Российская газета. 2015. URL: <http://www.rg.ru/2015/06/11/shum.html>.
4. *Загидуллина М.В.* Мастерство популяризации науки как элемент профессиональной культуры современного журналиста // Современная журналистика: дискурс профессиональной культуры: Тематический сб. ст. и материалов. Екатеринбург, 2005.
5. *Колоев А.С.* Научно-просветительские издания как типологическая ниша // Медиаскоп. 2012. № 2.
6. *Лазаревич Э.А.* Популяризация науки в России. М., 1981. С. 214.
7. *Липпманн У.* Общественное мнение. / Пер. с англ. Т.В. Барчуновой. М.: Институт Фонда «Общественное мнение», 2004.
8. *Мертон Р.К.* Социальная теория и социальная структура. М., 2006. С. 782-788.
9. *Парафонова В.А.* Профильные особенности современных научно-популярных журналов России (1992-2008 гг.). М., 2008. С. 49.
10. *Парафонова В.А.* Типологические особенности современных научно-популярных журналов России (1992-2008). М., 2008. С. 26, 28.
11. *Философия науки / С. А. Лебедев.* М.: Юрайт, 2011. 288 с.
12. *Яковенко И.А.* Рынок научно-популярных журналов: национальная тиражная служба. 2012. URL: <http://pressaudit.ru/rynok-nauchno-populyarnyx-zhurnalov-analiticheskij-obzor/>.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 28 evenly spaced horizontal black lines across its entire width, typical of standard notebook paper. The lines are uniform in thickness and spacing, providing a guide for writing without any additional markings or text.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.