



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

КАФЕДРА  
ТЕЛЕМАТИКА

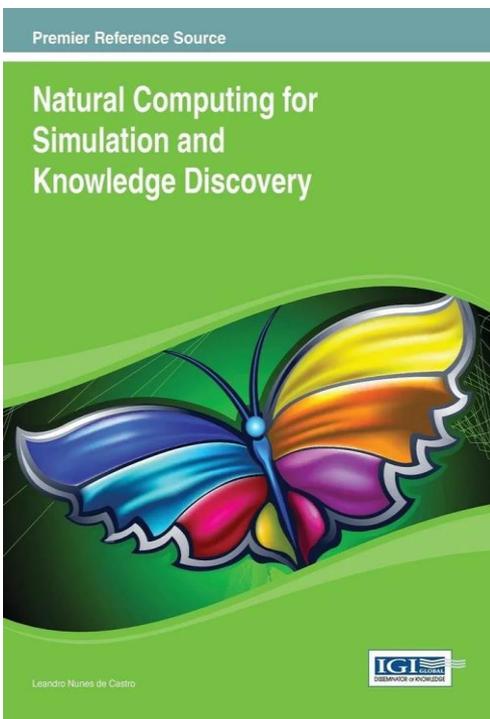
# Методы исследовательской работы

## анализ проблемы сложности вычислений, АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ (занятие 6 )

---

17 марта  
2022 г.

# Что обсуждали на прошлой лекции



Компьютерное моделирование Природы опирается на ряд положений:

- абстрагирование или **семантическая** фильтрация сущностей - путь представления физических явлений через процессы вычислений.
- применение вычислительных технологий не должно нарушать «презумпцию непрерывности» физических явлений.
- использование человеческого сознания, чтобы формировать классы эквивалентности мыслимых сущностей, **суть которых заключена в** сентенции «*Computo ergo sum*» - **существует то, что можно вычислить.**

**Вопрос: если сознание - реальное свойство живых организмов, имеет ли оно вычислительную природу?**

# Что планируется обсудить на этой лекции

1. **Какие методы исследования описывают вычислительный феномен сознания ? Какое "число" участвует в этих вычислениях**
2. Почему разум не может контролировать сложные переходы от ансамбля молекул к ансамблю организмов?
3. Как разум решает задачи комбинаторной и NP (недетерминированной полиномиальной) сложности.
4. Является ли феномен жизни необходимым условием для появления Разума.

# Можно ли говорить о «математике создания»

## О чем мы думаем:

- Mind (Consciousness) = Разум (сознание) - это феномен, при котором информация интегрируется в мозг таким образом, что .... не может быть разбита на части:

информация ? (difference that make the difference...-  $\log P...$

интегрируется ? ( +, \*, .....

разбита на части ? (  $S=\Delta Q/T$ , .... $Q= -kT\ln 2^* (I_{in}-I_{out})$

- Сознание - это сохраненный информационный опыт....

## Что нам нужно знать:

Можно ли смоделировать процессы сознания математически, используя современные методы физики, теории алгоритмов и информатики?

# Пример – задача о назначениях

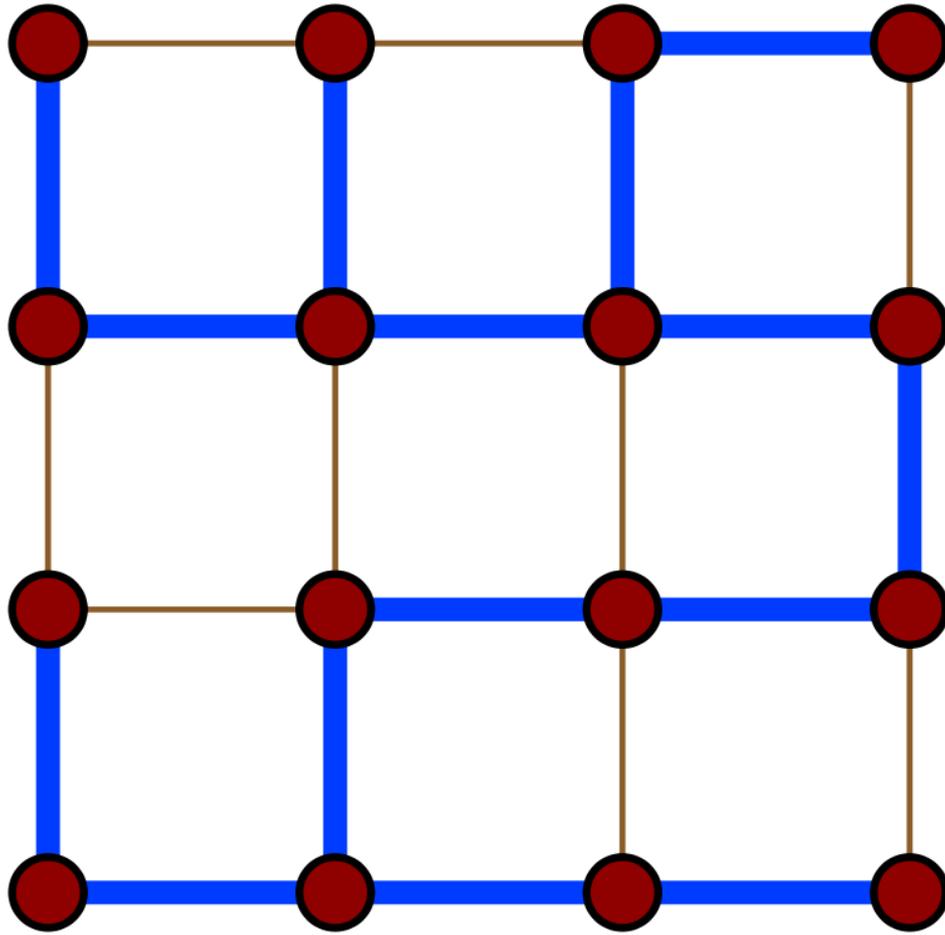
- Суть задачи. Найти наилучшее распределение некоторого числа работ между **таким же** числом исполнителей.
- Формализация задачи: Имеется  $n$  работ и  $n$  исполнителей. Любой исполнитель может быть назначен на выполнение любой (но только одной) работы, но с неодинаковыми затратами. Нужно распределить работы так, чтобы выполнить работы с минимальными затратами.
- Доказано, что задача имеет полиномиальное решение. Почему ?

# Подход к решению через понимание или алгоритм

- **Математическое понимание**, которое превращает задачу о назначении в «полиномиально решаемую», заключается в следующем:
- Лемма: Пусть  $U \subset V$  - любое подмножество вершин  $G = (V, E)$ , и пусть  **$e$  - ребро** с наименьшим весом из всех ребер, соединяющих  $U$  и  $V - U$ . Тогда  **$e$**  является частью минимального «остовного» дерева.

Комментарий: «остовное» дерево получается из исходного графа удалением максимального числа рёбер, входящих в циклы, но без нарушения связности графа. «Остовное» дерево включает в себя все  $n$  вершин исходного графа и содержит  $n-1$  ребро.

# Поиск «легкого» решения



Пример решетчатого графа с 16 вершинами

Один из вариантов выделения остовного дерева этого графа., где рёбра дерева изображены утолщёнными синими линиями.

## Определение:

«Остовное» дерево — ациклический связный подграф данного связного неориентированного графа, в который входят все его вершины.

# Пример

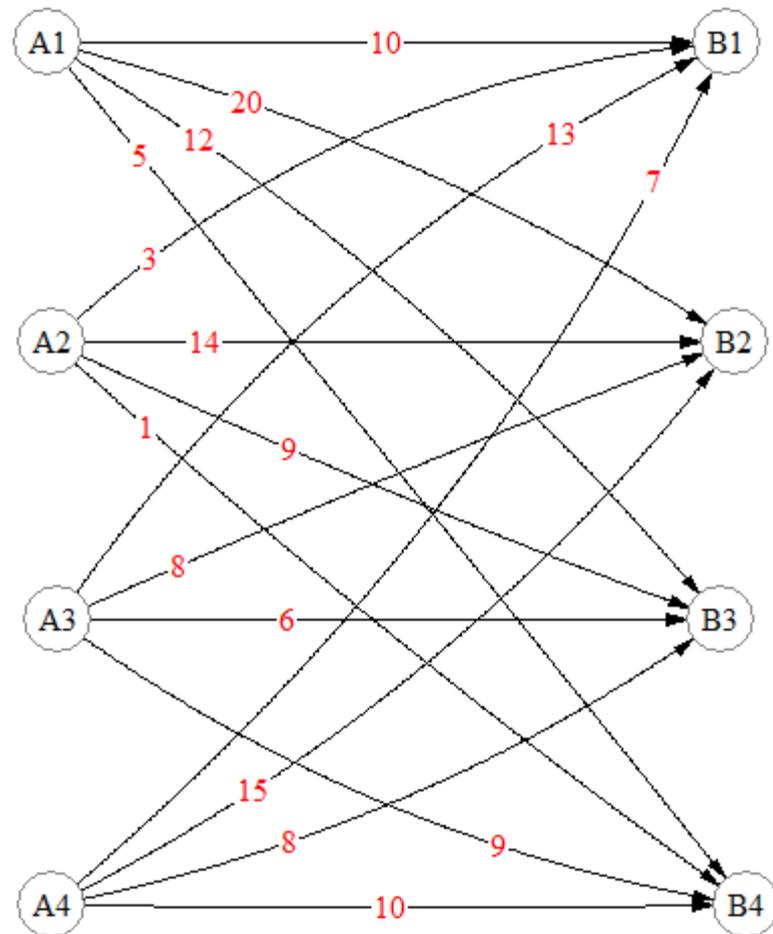
Имеется 4 склада A1, A2, A3, A4 и 4 магазина B1, B2, B3, B4. расстояние от каждого склада до магазина задана матрицей

10	20	12	5
3	14	9	1
13	8	6	9
7	15	6	9

**Требуется:**

«Прикрепить» склады к магазинам, чтобы суммарное расстояние доставки товаров было минимальным.

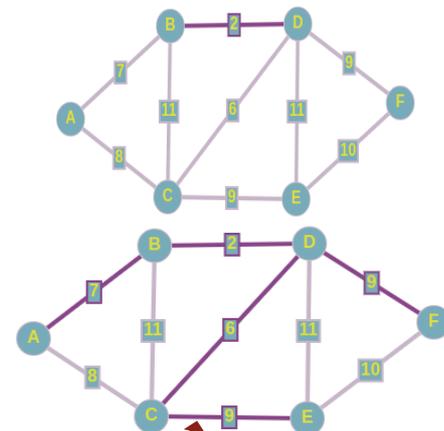
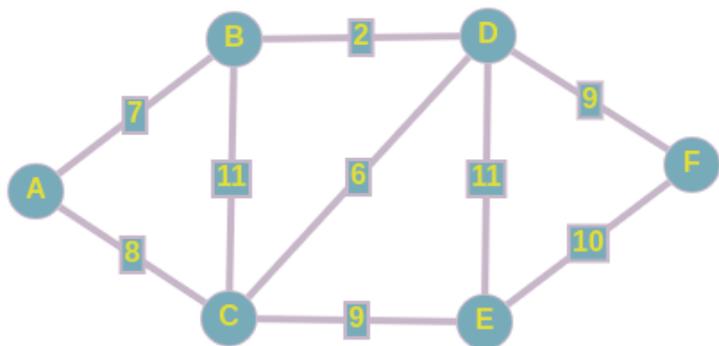
**Решение.** Построить «оставное» дерево.



# алгоритм

Дано неориентированный взвешенный граф. Найти такое остовное дерево, сумма рёбер которого минимальна.

- 2)  $D \leftrightarrow C$ ;  $w = 6$
- 3)  $A \leftrightarrow B$ ;  $w = 7$
- 4)  $A \leftrightarrow C$ ;  $w = 8$
- 5)  $C \leftrightarrow E$ ;  $w = 9$
- 6)  $D \leftrightarrow F$ ;  $w = 9$
- 7)  $F \leftrightarrow E$ ;  $w = 10$
- 8)  $B \leftrightarrow C$ ;  $w = 11$
- 9)  $D \leftrightarrow E$ ;  $w = 11$



Шаг 1. производим сортировку **рёбер по неубыванию** их весов.

Шаг 2. Добавляем  $i$ -ое ребро в подграф только в том случае, если данное ребро соединяет две разные компоненты связности, одним из которых является подграф.

Шаг 3. На каждом шаге добавляется минимальное по весу ребро, один конец которого содержится в подграфе, а другой - еще нет.

Шаг 4. Алгоритм завершит свою работу после того, как **множество вершин** подграфа совпадет с множеством вершин исходного графа.

# Программа поиска «остовного» дерева

PRIM(G)

**Input:** weighted graph  $G(V,E)$

**Output:** minimum spanning tree  $T \subseteq G$

**begin**

Let  $T$  be a single **vertex** (вершина)  $v$  from  $G$

**while**  $T$  has less than  $n$  vertices

find the **minimum edge** (ребра) connecting  $T$  to  $G - T$

add it to  $T$

**end**

**End**

**Вывод.** сложность алгоритма зависит от структуры данных.  
Проблема поиска остовного дерева полиномиальной сложности разрешима.....

# Почему в принципе существуют NP задачи?

- Не существует доказательства, **исключающего существование** полиномиального алгоритма для конкретной NP задачи.
- **Но не исключено**, что когда-нибудь, кто-нибудь придумает такой алгоритм...
- Заметим, что «почти» аналогичные по формулировке вычислительные задачи уже становятся P сложны . **Свойство NP сложности неустойчивое ?**
- Так, **различие** задачи **о назначении** от задачи коммивояжера заключается в том, что первая допускает **все перестановки** из  $n$  элементов, а **не только циклические**.
- Эффективный способ «бороться» со сложностью – понять суть задачи и сформулировать ее так, чтобы принимаемое решение было P сложности.
- Основа «умных» решений – интеллект....( **наличие у субъекта - сознания**)

# Существует ли способ учета в алгоритмах аспекта «создания»

- Разум (Mind)|Сознание (Consciousness) - это феномены, при котором информация и возможные решения интегрируются таким образом, что .... образуют «единое целое», которое не может быть разбито на части:

информация ? (difference that make the difference,  $-\log P...$   
интегрируется ? (какие операции  $+$ ,  $*$ , ....)  
разбита на части ? (растет  $S=\Delta Q/T$ , .... $Q = -kT \ln 2^* (I_{in} - I_{out})$ )

- Можно ли так реализовать процессы решения, чтобы в используемых алгоритмах явно присутствовал «аспект понимания» и объяснения полученного решения ?

# Вопрос: является ли сознание ...вычислимой сущностью

1. Феномен сознания **интегрирован** со всем тем, что человек знает о реальности (что реально видел, осязал, слышал или изучал теоретически).
2. Поэтому возможность использования "опыта сознания" **радикально отличается** от алгоритмов автоматического распознавания образов, реализованных в современной компьютерной системе с ИИ.
3. **Суть отличия** современных компьютерных технологий от технологий, основанных на использовании феномена сознания, в сущности решаемых задач – компьютерные алгоритмы это решение прямых задач, «**умные**» алгоритмы – это решение «**обратных задач**».

«Сознательный опыт» можно рассматривать как своего рода процесс сжатия информации. «Сознательное» сжатие информации позволяет сформировать «семантический базис» .... топологического пространства понятий, в которое отображаются воспринимаемые (опытные) данные.

Так, рассмотрим последовательность чисел:

4, 6, 8, 12, 14, 18, 20, 24.... Это бесконечный ряд, определяемый как:  
нечетные простые числа  
3, 5, 7, 11, 17, 19, 23.....  
плюс 1.

Такое объяснение - это решение «обратной задачи», оно не содержит в себе все множество простых чисел, но оно позволяет точно воспроизводить ряд, Это объяснение может рассматриваться как **смысловое сжатие информации**, полученной в предъявленной последовательности данных .

# Природа человеческого интеллекта – есть ли перспектива моделирования с точки зрения компьютерных наук

15

Вопросы, требующие ясного ответа:

1. Почему законы физики вычислимы, насколько нам известно, а законы сознания – нет
2. Почему законы физики, насколько нам известно, вычислимы, а законы сознания - нет?

Мы можем предположить, что сознание не является "объективно" вычислимым, а лишь вычислимо только "субъективно", т.е. вычислимо непосредственно сами "носителем конкретного сознания".

**$P=NP=....=P$  local complexity**

Заметим, что в математике идея вычислимости не зависит от наблюдателя, но .... так же как в квантовой механике, в теории сознания аналогично нельзя избавиться от «наблюдателя».

# Современные спекуляции в области искусственного интеллекта.

- **Почти весь человеческий интеллект** можно рассматривать как некую форму вычислений или ввода/вывода/хранения данных.
- Человеческий интеллект «исходит» не только непосредственно от мозга, почти каждая часть человеческого тела играет определенную роль в интеллекте человека.
- **Интеллект имеет синергетическую природу** - целое намного больше, чем сумма его частей. Так, каждая клетка сама по себе обладает ограниченным интеллектом, но вместе можно достичь большого интеллекта.
- **Интеллектуальные вычисления распределены, параллельны на нескольких уровнях и децентрализованы** - нет централизованного программного каркаса, аналога центрального процессора, управляющего всеми вычислительными процессами и поведением мозга.
- **Рекурсия или самосовершенствование процесса** на нескольких уровнях основные функции механизмов внимания и абстракции, которые значительно уменьшают объем необходимых интеллекту вычислений.
- **Интеллект использует как подход машинного обучения (статистика), так и логические (формальные) рассуждения (символические вычисления и т.д.)**

Гипотеза: Является ли тело частью интеллекта?  
(Интеллект реализуется не только как функция мозга).

17

... имеет ли организм и его микробиом значительное влияние на мозг и поведение человека?

**Факты:**

Даже одна клетка обладает вычислительным ресурсом для решения специфических задач информатики, таких как выбор пути в лабиринте.

В результате встраивания вычислений клетки выбирают направления, выделяют химические вещества и реплицируются, следуя программе ДНК, которая аналогична программе цифровых компьютеров.

В этом случае не имеет значения, что клетки не обладают тем, что называется развитым сознанием, но каждая клетка вносит свой вклад в общий интеллект человека.

- **муравьиная колония** в совокупности гораздо более интеллектуальна, чем сумма интеллекта каждого входящего в нее муравья
- Концепция "мудрости толпы" и концепция компьютерной науки имеют много общего. Таким образом, набор транзисторов или многослойные нейронные сети могут быть более "умными", чем один транзистор или однослойная сеть нейронов.
- Если предположить, что большинство клеток человеческого организма обладают некоторыми вычислительными возможностями, то это означает, что "тело" как живая структура может одновременно (параллельно) выполнять десятки триллионов согласованных вычислений.
- При этом традиционный процессор может обрабатывать только одну команду за выделенный интервал времени, современный многопоточный процессор может одновременно обрабатывать  $n < 64$  различных потоков операций, многоядерный графический (векторный) процессор может одновременно обрабатывать десятки тысяч одинаковых операций, а суперкомпьютер - миллионы разнородных вычислительных операций.

# Вычисления: Распределенные и децентрализованные аспекты

- **Параллельные вычисления** позволяют быстро реагировать на происходящие события, формируя результат вычислений "не по отдельным его частям, а рассматривая его как единое целое.... ", хотя это "целое" может включать в себя множество компонентов. Такие возможности существуют не для произвольных вычислений, а для определенных типов задач, ориентированных на обработку заранее подготовленных и обученных абстрактных данных.
- **Параллельность вычислений** для тела в целом и мозга в частности позволяет рассматривать каждую вычислительную единицу (например, клетку, орган, часть мозга) как отдельный агент, который как конкурирует, так и сотрудничает друг с другом.

Например, кишечник может конкурировать с функциями мозга, чтобы принять решение о следующем действии, а одна часть мозга может сотрудничать с другой частью, чтобы сформировать более точную последовательность операций/действий.

В мозге реализуются механизмы лежат в основе синергии, которая позволяет целому быть больше, чем сумма его частей.

Абстракция сводит к минимуму бесполезные вычисления. Так, в поле зрения человека может находиться 10 объектов и 10 деталей о каждом из них. Но человек используя феномен внимания, естественно,

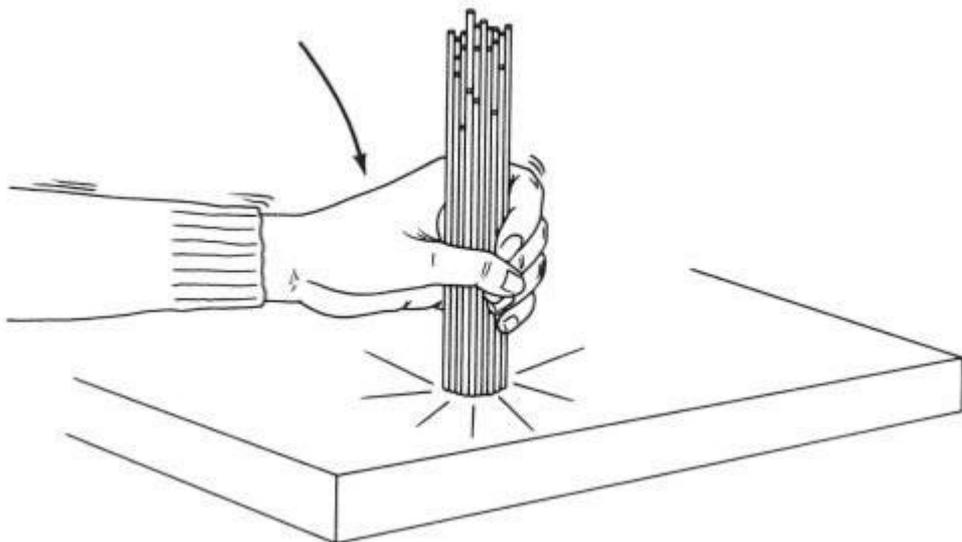
1. ограничит свое внимание только одним из этих объектов (например, опасным камнем, летящим в его сторону) и
2. сделает простую абстракцию объекта, игнорируя детали (например, для опасного, быстро движущегося объекта нет необходимости думать о точной форме или узорах на камне).

Механизмы внимания и абстрагирования иногда имеют недостатки (например, люди иногда делают преждевременные выводы или упускают важные детали), но в большинстве случаев они вносят положительный вклад в человеческий интеллект.

Компьютеры могут использовать аналогичные подходы. "Внимание - это все, что вам нужно" эта идея привела к огромным достижениям в обработке естественного языка и описывает успехи в использовании нейронных сетей для создания абстрактных моделей мира, которые поддаются вычислению, и комбинирования их с другими природными явлениями для успешного выполнения задач.

# Использование для вычислений объективных преимуществ из области физики или биологии

21



Преимущества ДНК-вычислений обусловлены их способностью выполнять одну и ту же операцию одновременно по заданной кодовой цепочке без дополнительных затрат на синхронизацию.

Алгоритм "Spaghetti Sort" может быть легко реализован человеком, но не компьютером без физического тела.

Человек может отсортировать стержни по длине с временной сложностью  $O(n)$ . В отличие от этого, самый быстрый компьютерный алгоритм сортировки списка чисел -  $O(n \log n)$ , что еще хуже. Таким образом, компьютер не может воспользоваться преимуществами гравитации, которая постоянно действует на все стержни одновременно (параллельно). Гипотеза "P=NP", по-прежнему имеет большое значение

Вычисления - это процесс, который реализует отображение между некоторыми символическими структурами (доменами). Реализованное отображение может принимать форму

функция,  
оператора,  
Алгоритмы  
Понимание  
или  
отношения.

Любая символьная структура может быть  
числа:  $3 + 2$  равно 5,  
а может и нет.

**Все зависит от ума!!!**

- Появлению топологии предшествовал длительный период развития математической мысли. Основная гипотеза в современном анализе данных, заключается в том, что данные «имеют форму,» или, другими словами, данные отбираются из некоторого базового многообразия — в этом суть “гипотезы многообразия”.
- С точки зрения топологии выделяются *количественные и качественные* (собственно топологические) свойства пространства. К количественным свойствам относятся кривизна, измерение углов, измерение площадей. Качественные свойства пространства представлены размерностью, ориентированностью, связанностью.

# Про фундаментальные понятия

- топология использует такие понятия, как бесконечность, непрерывность и безграничностью
- *Безграничность* – это топологическое свойство пространства, указывающее на то, что у него нет границ ни в каком направлении.
- *Бесконечность* – это метрическое свойство, согласно которому можно продвигаться как угодно далеко. Примером безграничного, но не бесконечного пространства является шар. Перемещаясь по шару, мы не встретим никаких границ при своём движении, но это пространство метрически конечно, так как имеет вполне определённую площадь.
- Плоскость – это пример бесконечного и безграничного пространства. В целом для топологических характеристик пространства необходимо применять понятия, характеризующие их свойства как замкнутое (метрический признак «конечное») и «открытое» (метрический признак «бесконечное»), ориентированное и неориентированное, а также показатель связности.