

Международная школа и семинар  
Тихоокеанский государственный  
университет

доклад:  
**Актуальные вопросы  
интеллектуализации компьютерных  
наук : физические и информационно-  
вычислительные аспекты**

В.С. Заборовский

«Развитие компьютерных наук:  
обучение машин vs моделирования  
физических систем»

3 октября  
г. Хабаровск  
2024



**ПОЛИТЕХ**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

# Содержание

## Часть 1 (теория)

1. К истокам «компьютерной» проблемы «цифровые тени» компьютерных наук
2. Аннотация обсуждаемой проблемы- захватывающие дух возможности
  - Математика + физика = Сколько «весит» 1 бит в Дж
  - **Энергетика процессов вычислений у лингвистического «поворота»** в развитии компьютерных наук

## Часть 2 (практика)

### 3. Прикладные аспекты управления производительностью суперкомпьютеров с использованием машинного обучения

СКЦ «Политехнический: «БАК» свычислитпельных технологий и ИИ

«Закон Мура» в МТ больше не работает ... да здравствует «машина Геделя»

Новый «передел» технологий»: от МТ к интеллектуальному трансформеру

### 4. Выводы

## Часть 1 (теория)

### В докладе речь пойдет об истоках проблем современных «компьютерах наук»

Для многих «компьютер» это «черный ящик», на который можно воздействовать не силой, а «кодом»... - программировать и .... даже «обучать», однако каков «внутренний» процесс превращения текста программы численный результат почти никого не интересует кроме ...

**Вход** — данные +  
исполняемый код  
программы

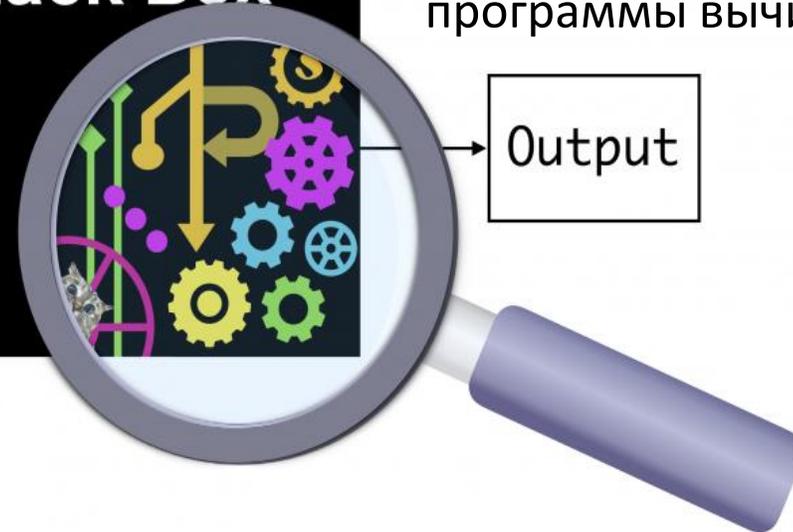
Input

Black Box

**Выход** — статус решения (успешно  
не успешно) завершились  
программы вычислений

Output

Что такое «код» с  
точки зрения  
физики ?



# «Искушения» компьютерных наук (КН)

Искушение - побуждение нарушить объективные законы%

90-е годы 20 века: **задачу решим на компьютере** («действие» - код , **КТО** напишет ???)

20-е годы 21 века: **задачу решит ИИ** («действие» - рекурсия по нумерации Геделя, **КТО** «научит» ???)

На пути «разрешимости» искушений КН лежит «принцип хрупкости «хорошего»

Сформулированный ак. В. И. Арнольдсом: ... для системы, которая включает в себя параметры, задающие границу устойчивости системы, при малом изменении этих параметров более вероятен переход всей системы в область неустойчивости, чем в область устойчивости.

Практическая интерпретация принципа «хрупкости»:

- всё «хорошее» (**код понятия**, например, устойчивость системы) более «хрупко» (в смысле **вероятности**), чем любое «плохое» (вид вероятностного распределения),
  - «хорошее» одновременно должно удовлетворять нескольким требованиям, а «плохое» может иметь **хотя бы один** из «недостатков».

В КН «хрупкое» понятие «**физической причинности**» было вытеснено «плохим» понятием «**вероятность**», но при этом вероятности должны носить условный характер , когда условия задают «границы» возможного в форме фундаментальных **законов физики**

## Аннотация обсуждаемой проблемы

Computer science differs from physics in that it **is no actually a science**. It does not study **natural objects**.

**Р. Фейнман / Feynman lectures on computation**

...**does not study natural objects** ... действительно так

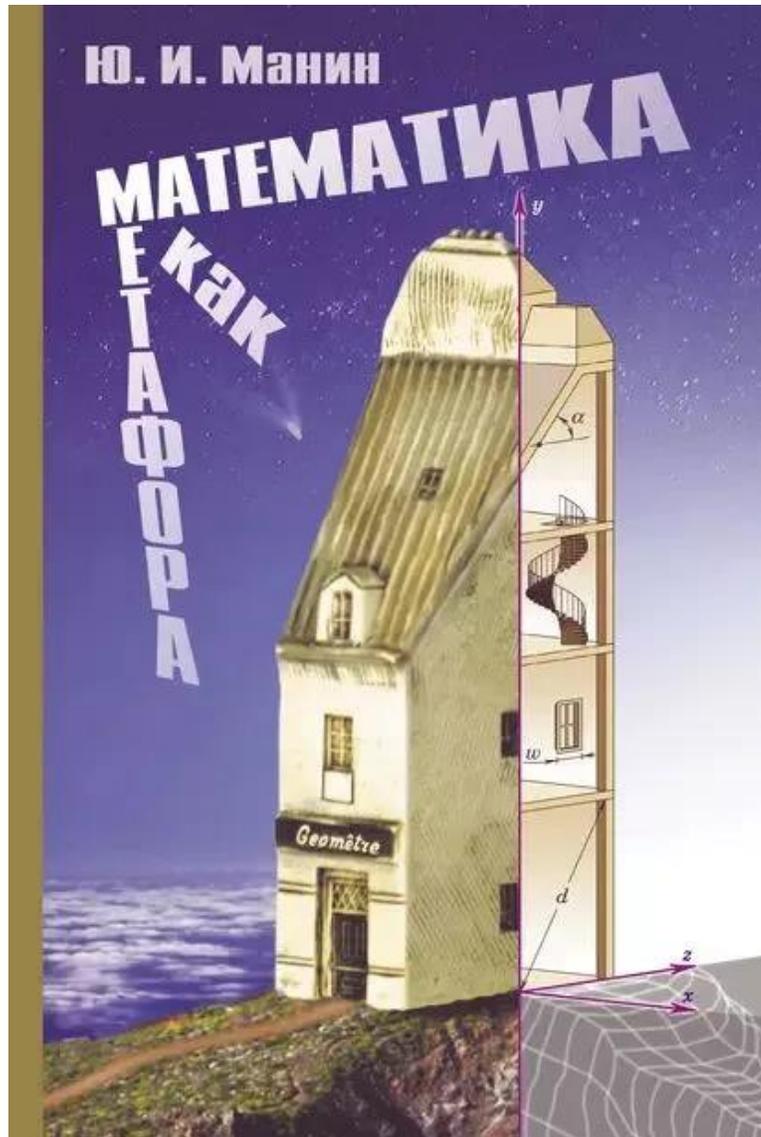
- **Объект** «компьютерных наук» (КН) - **информация** ...
- **Предмет** «компьютерных наук» - **средства обработки информации**

и хотя КН имеют глубокие **междисциплинарные «корни»**, однако говоря о «КН» чаще всего речь идет «программах» для :

- численного моделирования ( «алгоритм--> программа → число» )
- «обучения» нейроморфных машин ( «число → программа → алгоритм» )

но хотя КН .... **no actually a science**... особый интерес **представляет анализ того:** 1) какая же **физика** «стоит» за «сложными» процессами **обработки информации** и 2) как с точки

## Математика как метафора: реификация понятий КН



Ю. И. Манин (2010) "Математика как метафора".

- В книге используется **понятие реификации** (reification) - **процесса, в котором закодированная абстрактная идея** (например, программа или результат вычислений - число), **трансформируется (воплощается) в реальный или мыслимый объект**

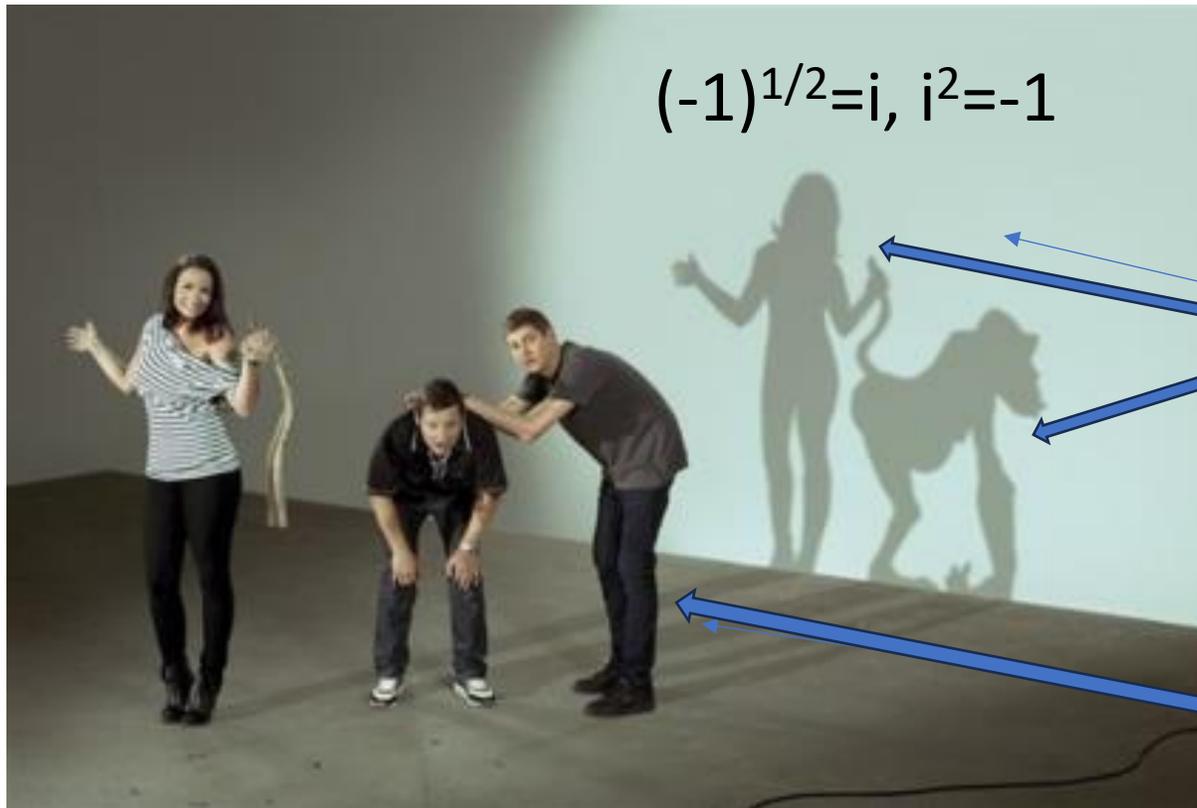
(например, данные как текст на некотором языке, в том числе и на языке математики).

У процесса реификации есть **инвариант - это смысл метафоры, который осмысленно «кодирует»** воспринимаемую часть **бесконечномерного и сложноорганизованного физического мира**.

образ «платоновской пещеры» лучшая метафора современного научного знания:

# Разделение мира на физические объекты и «цифровые тени» : на воспринимаемое и мыслимое

Математическая модель : как синергия законов физики и цифровых «теней реальности»



$$(-1)^{1/2}=i, i^2=-1$$

Реально **воспринимаемое** можно  
мыслить (объяснить) **через**  
**невидимое - числа**

«**цифровые Тени**» - это то, что  
составляет основу **мыслимо**  
**воспринимаемого и обратимого**  
(информационного) **восприятия**

**Объекты физической**  
**реальности**

Триплеты научных объяснений:

материя, **энергия**, **энтропия**

модели, алгоритмы, **информация**

числа, слова, **смыслы**

Но в процессе восприятия «теней»  
информация об физических объектах всегда  
искажается ?!

При анализе проблем КН будем исходить из того, что ...

«перед нами открываются захватывающие дух возможности, замаскированные под неразрешенные ранее проблемы

*John*

*Gardner, 1965*

ИТАК, современный компьютер – физический «прибор», поэтому проблемы КН будем пробовать решить, рассматривая их с междисциплинарных позиций, а именно:

- законов квантовой физики,
  - термодинамики открытых систем,
  - принципов машинного обучения,
  - модальной , квантовой и дедуктивных логик

а обсудить будем **взаимосвязь физических и информационно-алгоритмических аспектов реализации вычислительных процессов**

## Что это «не разрешенные проблемы»: особенности классических физических и информационно-вероятностных методов

Суть особенностей в различии «классических» (колмогоровских) вероятностей vs вероятности смешанных состояний (матрицы фон Неймана)

Классическое (стохастическое) состояние макрообъекта (доступного прямому наблюдению) представлено **функцией вероятности:  $P(x,p)$**

Квантовое (смешанное) состояние представлено функцией «**матрицы плотности состояния**» фон Неймана:  $\rho(x,x')$ , которая во многих отношениях ведет себя как вероятность, за исключением того, что **она может быть отрицательной (или комплексной)**.

Итак, современная **физика слишком сложна** для моделирования на классических компьютерах – машинах Тьюринга, поэтому нужны принципиально «нетьюринговские» вычислители, которые позволят решить задачи моделирования всех классов физических процессов. Но что это д. б. за вычислители:

- интеллектуальные
- квантовые
- а может быть все таки гибридные ?

физические проблемы современных КН- это т.н. «стены»  
памяти (процессор в 1000 раз быстрее памяти),  
частоты (тактовая синхронизация ограничена 5  
 ГГц)  
мощности (диссипация тепла  
 разрушает МП)

Характеристики суперкомпьютерных систем из списка TOP 500

год	число ядер	R <sub>реак</sub> , ПФлопс	R <sub>max</sub> , ПФлопс	эл. мощность, МВт
2023 Frontier	8,700,XXX	1680.XX (1.7 ЭФлопс)	1100.XX (1.1 ЭФлопс)	21
2020 Fugaku	7,300,XXX	513.XX	415.XX	28
2010 Tianhe-1	186,XXX	4.7X	2.6X	4
2000 ASCI Intel	9,6XX	0.03	0.02	-

- 1 кг угля -> 3 кВтч = 0.003 МВтч
- 1 тонна угля -> 3 МВтч

21 МВт -> 21/3 =

- 7 тонн в час
- 168 тонн в день
- 60480 тонн в год

Итак: 2) как с точки зрения физики можно понимать ...существование еще не воспринимаемого: **Информационно-алгоритмические проблемы** - **вычислимости алгоритмов и объяснимости результатов вычислений**



Итак, существуют как формальные (теоретические), так и практические (природные) процессы, которые:

- 1) **не вычислимы**, то есть не доступны для программного моделирования на современных компьютерах за конечное время
- 2) экспериментальные множества данных алгоритмически неразрешимы.

Далее на основе опыта работы СКЦ «Политехнический» СПбПУ производительностью 3 ПФЛОПС попробую пояснить как со всем этим можно

Вопрос: Можно с любой точностью вычислить этот видео процесс? «Жить», «Объяснить» и с пользой «использовать» ?

# Эволюция философских концепций науки применительно к развитию КН:

**Cogito**, ergo sum (16 век)

( лат. — «Мыслю, следовательно, существую»)

**Современность (21 век) : Computo**, ergo sum

( лат. - «Вычисляю, значит существую»).

**В будущем (21 век +20 лет) : Computo Cogito .....искушение**

**Информационно-компьютерный натурализм**: законы физики – «компьютерные» программы, а окружающий человека **мир** - гибридный квантовый компьютер, который вычисляет и сам себя и все вокруг?!

Откуда на все это взять **энергию** ?



# Воплощение «смыслов» в процессы компьютерных вычислений

«В начале было **Слово**»

*Евангелия от Иоанна*

«Все есть **число**»

*Пифагор 570-490 до н.э.*

вычисления **чисел**



вычисление **смыслов**

Эра конечных автоматов, вычисляющих числа с использованием программ-алгоритмов

Эра механических автоматов, исполняющих один алгоритм, вычисления

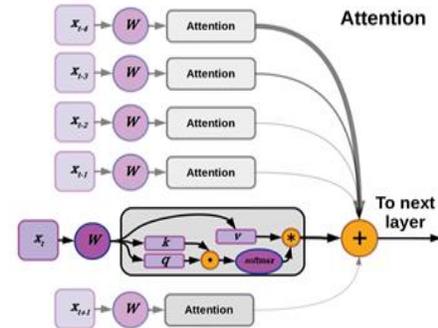


Алгоритм записанный на **естественном языке**, понятном человеку

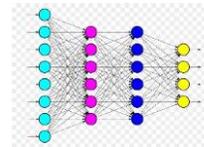
Алгоритм вычисления записанный **человеком** на языке «понятным» компьютерам



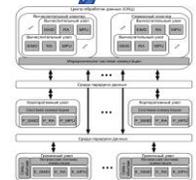
X-входные данные и описание заданий



Y-выходные данные - результаты



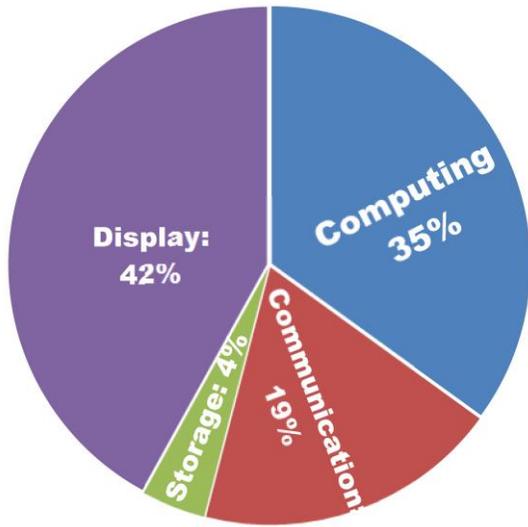
описание процессов на «языке данных»



Описание процессов на «языке понятий»

Воплощение (реификация) продуктов мышления человека (программы) при в материально-вещественные формы – результаты вычислений

## «Энергетика» процессов компьютерных вычислений



Четыре функции обработки информации в современных компьютерных системах, которые потребляют "внешнюю" энергию:

А) Вычисления, Б) Подключение к сети, Г) Хранение данных, Д) Отображение информации

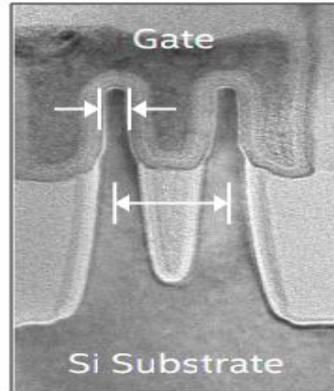
Транзистор – основной компонент современных МП может находиться в двух **равновероятных «0» или «1» состояниях**. **Принцип Ландауэра:** при потере 1 **бита** информации выделяется теплота :  $W \Rightarrow k_B * T \ln 2$  Дж, где  $k_B$  — постоянная Больцмана  $T$  — **абсолютная температура** вычислительной системы.

**Р. Ландауэр (1961 г): при стирании (потере) одного бита тепловыделение** чрезвычайно невелико: при  $T = 300$  К энергия необходимая для «обработки» 1 бита  $E_{bit} \approx 0,017$  **эВ**  $\approx 2,7 \times 10^{-21}$  **Дж**.

# Предел «закона Мура» достигнут?! Да здравствует машина Геделя

8 nm Fin Width

42 nm Fin Pitch



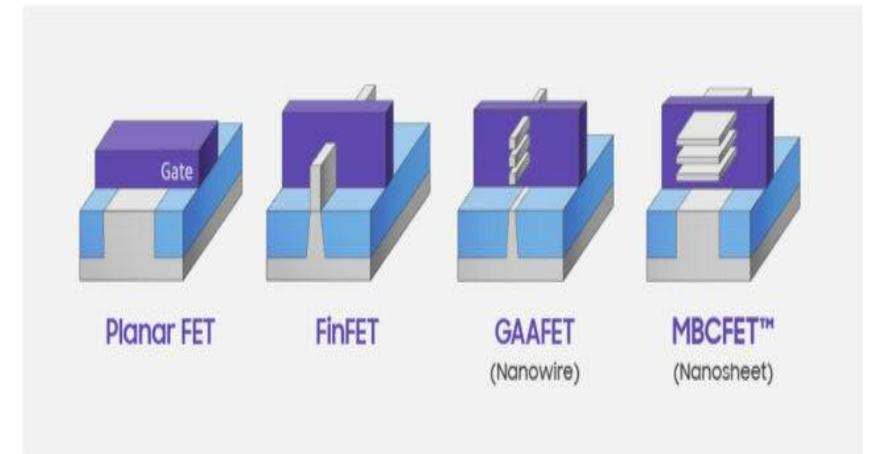
Современные МП –  
более 50 миллиардов транзисторов

количество выделяемо теплоты от **стирания информации при вычислениях** до макроскопических измеримых величин, способных «разрушить» сам транзистор.

Высота энергетического барьера, разделяющего два состояния транзистора  $E_{SNL} \approx 0,017 \text{ эВ} \approx 2,7 \times 10^{-21} \text{ Дж}$ .

На что тратить энергию?:

1. Программирование многоядерных МП
2. Расширение каналов связи «процессор-память»
3. Реконфигурировать архитектуру МП «под задачу»
4. Использовать методы «машинного обучения», чтобы **не терять информацию**, полученную в процессе решения задачи на основе нумерации Геделя (машина Геделя)



Эволюция топологии планарных транзисторов

## Геделевская нумерация как целостное физическо-энерго-информационного описания проблем КН : феномен Landauer' mass

Итак, если 1 bit теряется , то выделяется тепловая энергия  $E_{\text{bit}} = k_B \cdot T \cdot \ln 2$

- **вывод:** так как  $E = m \cdot c^2$ , любой «еще непотерянный» **1 bit** является носителем энергии, значит «it **has a mass** of at least»:

(This is 10 million times:  $m = \frac{E}{c^2} = \frac{2.87 \times 10^{-21}}{299792458^2} = 3,195 \times 10^{-38} \text{ кг}$ )

В настоящее время за год на Земле производится  **$10^{21}$  bits** информации

Причем имеет место постоянное ускорение производства информации на 20% в год

- **Вывод:** через 500 лет «масса» произведенной информации превысит массу планеты Земля

**Есть путь к «спасению»** : «интеллектуализация» КН через интеграцию законов физики, методов программирования и алгоритмов машинного обучения

- **Физика** следует законам **сохранения энергии** в мире реализуемых процессов
- **Программирование** следует принципу хранимой программы и **последовательного** выполнения конечного множества операций .....
- **Машинное обучение** искусственных нейронных сетей – реализует идею **«запутывания»** программы /данных

Цель интеллектуализации: повысить «остроту» компьютерных инструментов **за счет пополнения классических** моделей вычислений МТ (следуют законам сохранения) технологиями обработки информации и пополненных методами «обучения» **на основе следования законам физики и «обратимого» сохранения информации**

# ??? Компьютерные науки как информационное «вмешательство» в физику - «обращение» принципа Ландауэра ???

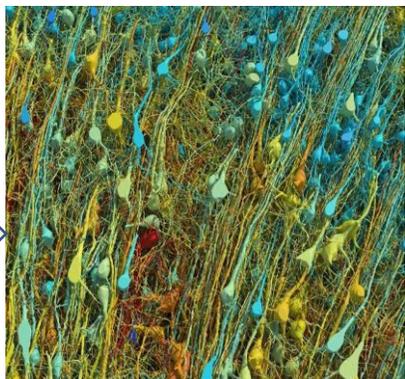
Если **информация** включается в **описание состояния системы** наравне с ее физическими параметрами, входящими в формулы законов сохранения, то оказывается, что

- Одна и та же система **«имеет» (способна проявить) различные физические свойства** в зависимости от имеющейся о ней информации ( вероятности "P" пребывания системы в одном из множества разрешенных состояний)
- Мера **информации** по Шеннону ( $I = -\log P$ ) может быть согласованна с общепфизическими **понятиями энергии и энтропии**
- Возможно «обращение» принципа Ландауэра ( то есть не стирание, а получение информации с помощью технологий «обучения машин»):
  - любая **неслучайная комбинация битов** описания системы (инФОРМАция) – есть свободная энергия формы, которая может быть использована для **производства работы**.

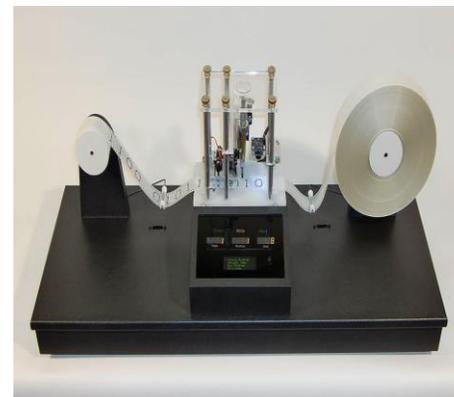
# Итак, компьютер как машина-трансформер : if we built a big enough computer, then it could **compute anything we wanted it to**. Is this true?

Ричард Фейнман

Мозг - «натуральный» трансформер мыслимых понятий **с механизмом внимания**



Лента-программа



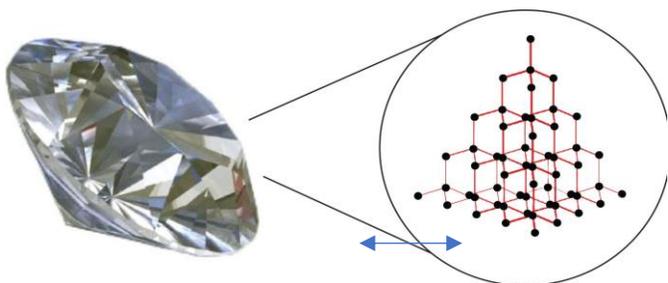
Число  $x_{y^2}$

Суперкомпьютер И. Маска из 100 000 микрочипов NVIDIA H100 будет применяться для обучения чат-бота

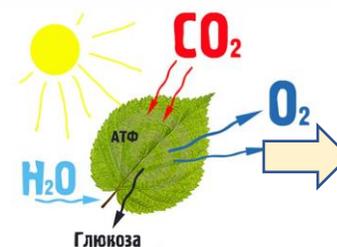
Мультимодальный объект

мозга с точностью до каждой клетки

Фото-синтез трансформер углекислый газ и воду в древесину



Кристаллическая структура твердого тела («программный код топологического квантового компьютер», который при T 300K трансформирует триллионы атомов C в объект «алмаз», вычисляя «сам себя», то есть вычисляя свою «форму»



Сосновые бревна © Евгения Миллер / Фотобанк Лори

lori.ru / 22.360.808

Зеттафлопсный суперкомпьютер и ЦОД от Oracle будет оснащаться с тремя ядерными реакторами и использоваться для обучения систем ИИ

Древесина как структура на 80% состоит из воздуха

# Формализация: информационная энтропия физических систем + как обратимая модель объекта

В описание компьютерной системы можно явно включать «информацию», используя формализмы термодинамики

Произведенная механическая работа  $\Delta A = kT \ln 2 = \Delta Q = T\Delta S$



Изменение обычной термодинамической **энтропии** двоичной ячейки (транзистора)



Работа, затраченная на стирание информации равна  $\Delta A_e = -kT \ln 2$

А полная совершенная в процессе работа  $\Delta A + \Delta A_e = T\Delta S - kT \ln 2 = T\Delta S_g$

$$\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = 0$$

Можно ввести понятие **эффективной энтропии**:

$$\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = \Delta(S + S_i)$$

$S$  – обычная **термодинамическая энтропия**, зависящая только от ее состояния

$S_i$  зависит от того, что знает о системе наблюдатель:

**информационная энтропия**  $S_i = -k \ln 2$  (на один бит).

Наличие информации о физической системе может рассматриваться как «обратимая «геделевская» модель объекта

# Попытка обобщения принципа Ландауэра : интерпретация процессов взаимодействия без потери информации

Эти законы объясняют следующие факты:

- 1) постоянная Бóльцмана определяет связь между термодинамической температурой и тепловой энергией частиц.
- 2) скорость света – постоянная, определяющая предел скорости передачи информации.
- 3) неравенство Гейзенберга: существовать это быть тождественен самому себе в пространстве и во времени.

Физика:

- $E = m * c^2$  (энергия пропорциональна массе)
- $E = k_B * T$ , где  $k_B$  – постоянная Больцмана =  $1,38 * 10^{-23}$  Дж/К,  $E$  – энергия системы,  $T$  – температура системы.
- $E = h * \nu$ , где  $\nu$  — частота излучения, а  $h$  — квант действия =  $6,626 * 10^{-34}$  Дж·с.
- $Q \geq k_B \cdot T \cdot \log 2$  ( потеря 1 бита информации приводит к диссипации энергии)
- $\Delta E * \Delta t \geq h > 0$ , где  $h$  – квант действия  
(+) \* (+) = (+) : существовать значить быть способом на «действие»

Информатика

$I = -\log p$  ( вероятность получения которого равна нулю, переносит  $\infty$  информацию )

$\Delta E * \Delta t \geq h > 0$ , где  $h$  – квант действия

(-) \* (-) = (+) : существовать значит «действовать» не теряя информацию – «вычисляя» себя

Формулу границы диссипации тепла можно обобщить, используя формулу Шеннона:  $Q \geq -k_B \cdot T \cdot \log \frac{1}{2} =$   
 $= k_B \cdot T \cdot (-\log p) = k_B \cdot T \cdot I$

тогда  $I \leq Q / (k_B \cdot T)$  или считая , что  $Q < E = m * c^2$  имеем  $E \geq k_B \cdot T \cdot I$ ,  
или  $m * c^2 / (k_B \cdot T) \geq I$ , тогда при  $T \rightarrow \infty$  имеем  $I \rightarrow 0$  (  $S \rightarrow 0$  )

## Часть 2 (практика)

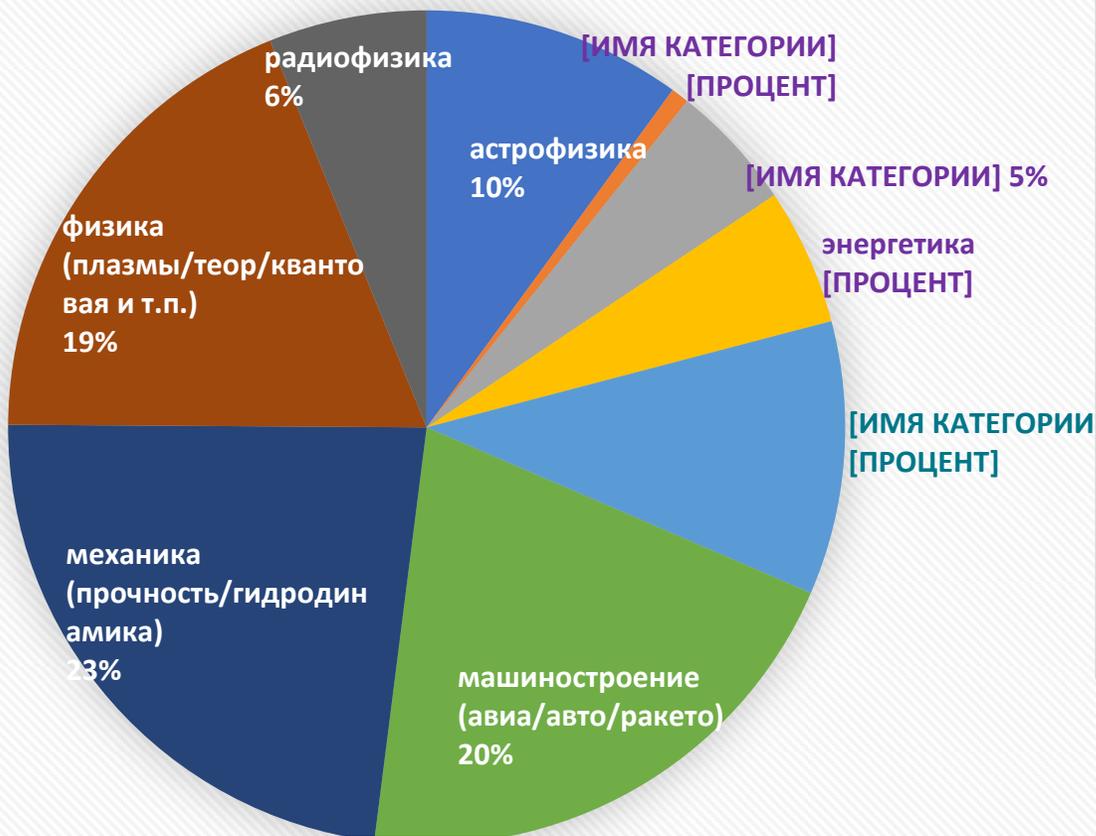
# Экспериментальная среда (информационный «адронный коллайдер») исследования потенциальных возможностей «компьютеров-трансформеров»

### За основу взят СКЦ «Политехнический»

1. «Первый» по производительности **гибридный суперкомпьютер** в России среди организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования (согласно рейтингу [top50.supercomputers.ru](http://top50.supercomputers.ru));
2. Десятый по производительности гибридный суперкомпьютер в России
3. Фактология :
  - Более **1000** пользователей
  - Более **200** научных групп
  - Более **30** промышленных организаций
  - **> 25 миллионов** узло-часов за 5 лет работы
  - **> 2 млн** выполненных заданий



# Мультидисциплинарный «БАК» КН: СКЦ «Политехнический»



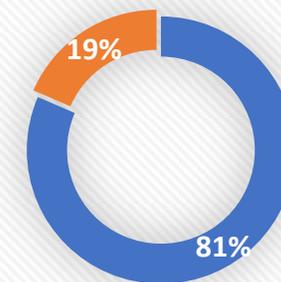
- астрофизика
- биоинформатика
- биофизика
- энергетика (энергомаш)
- геофизика (сейсмика/геофизика)
- машиностроение (авиа/авто/ракето)
- механика (прочность/гидродинамика)
- физика (плазмы/теор/квантовая и т.п.)
- радиофизика

Характер решаемых задач



- Прикладной
- Фундаментальный

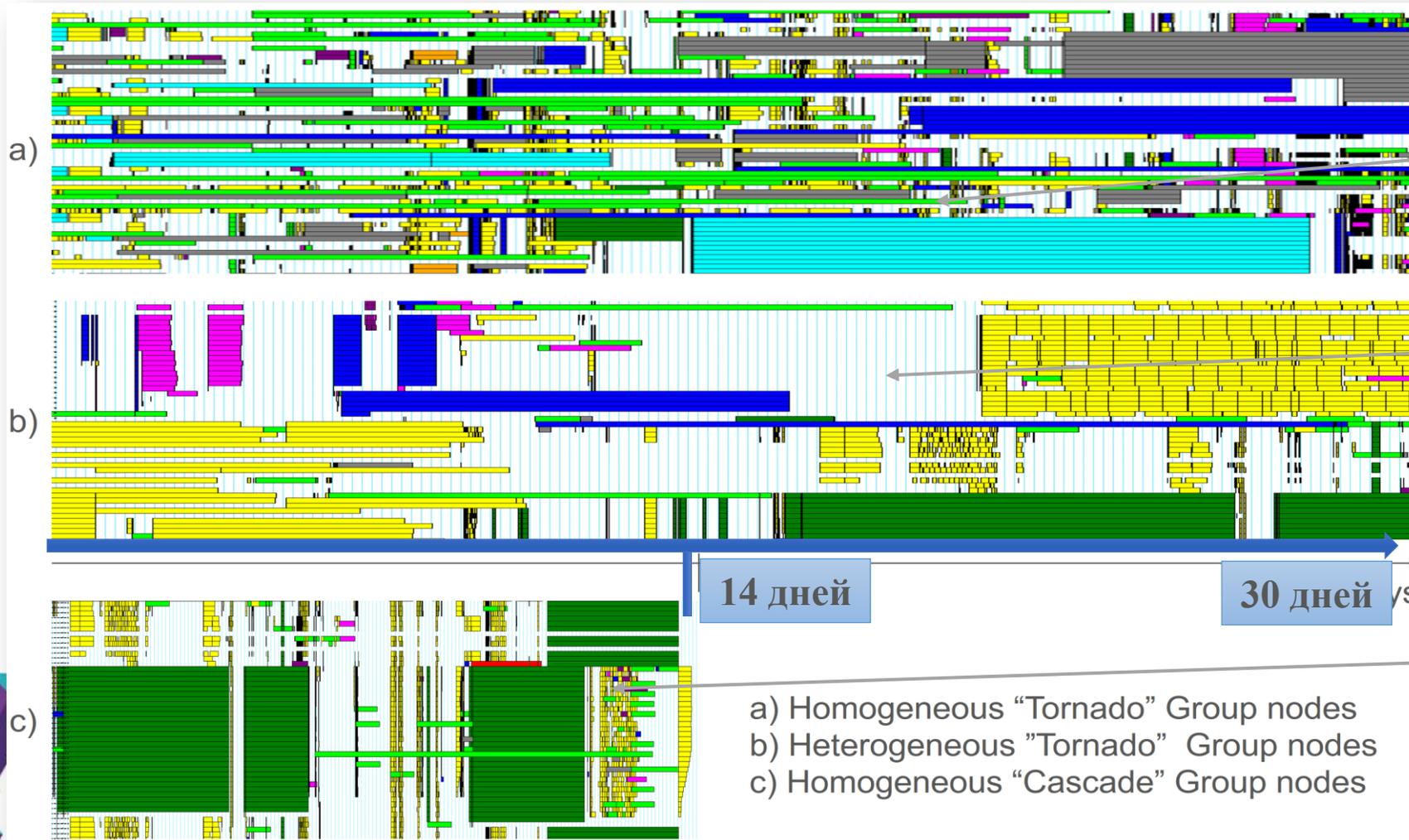
Классы пользователей



- Внутренний
- Внешний

# Стохастический характер модели «прикладной» загрузки $u(t)$ узлов

Загрузка узлов



Не более 60%

Не более 40%

Не более 50%

14 дней

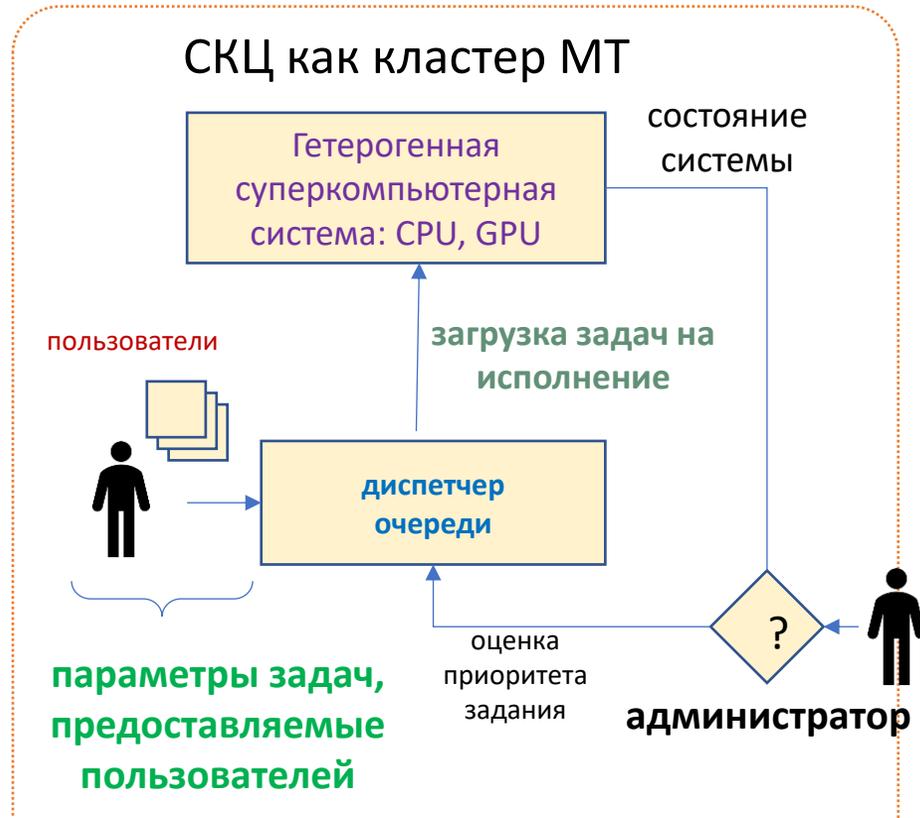
30 дней

- a) Homogeneous "Tornado" Group nodes
- b) Heterogeneous "Tornado" Group nodes
- c) Homogeneous "Cascade" Group nodes

Время

Функция загрузки  $u(t)$  узлов – случайная величина

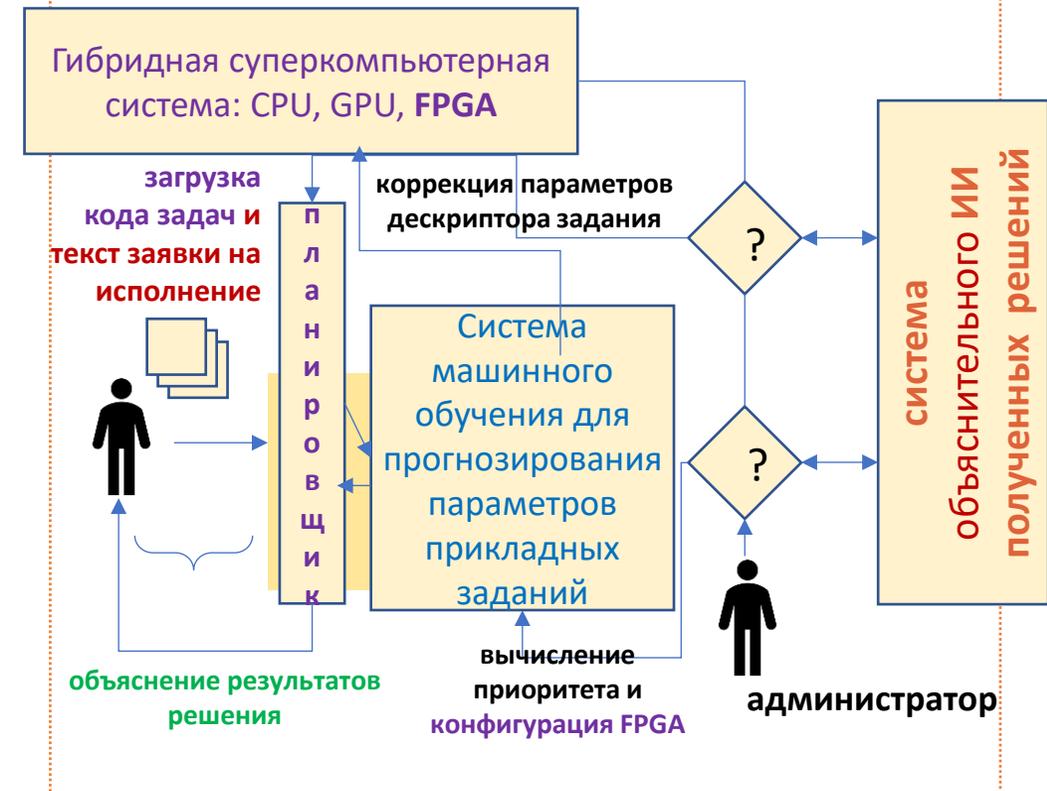
# Процесс научения СК успешному исполнению прикладных заданий



## Проблемы:

- неточность оценок параметров заданий, которые формирует пользователи
- Неточные оценки порождают «ошибки» диспетчера в выделении ресурсов для пользовательских заданий

## 2023 г. в СПбПУ : макет СКЦ «машины Геделя»

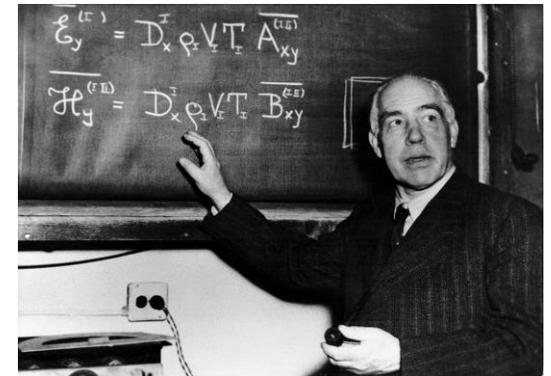


**Как проблему решить :** Создать систему машинного обучения диспетчера кластера, которая используя **модель компетенций пользователя** и функцию загрузки узлов кластера, чтобы **прикладные задания завершились успешно**

# Чему и как надо «учить» машину: истина в неполноте или физика феномена модельной «дополнительности» в КН

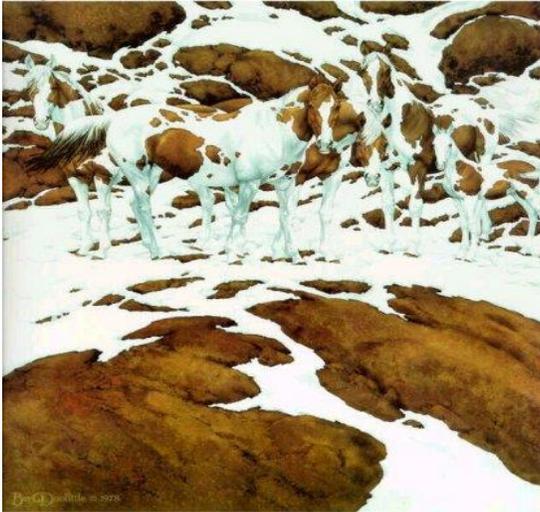
1927 год Нильс Бор

Согласно этому принципу для полного описания сложных явлений необходимо применять **ряд (два) взаимоисключающих («дополнительных») набора понятий**, совокупность которых в **форме осмысленного текста** даёт описание этих явлениях с **точностью до достоверности, то есть с  $P \approx 1$**

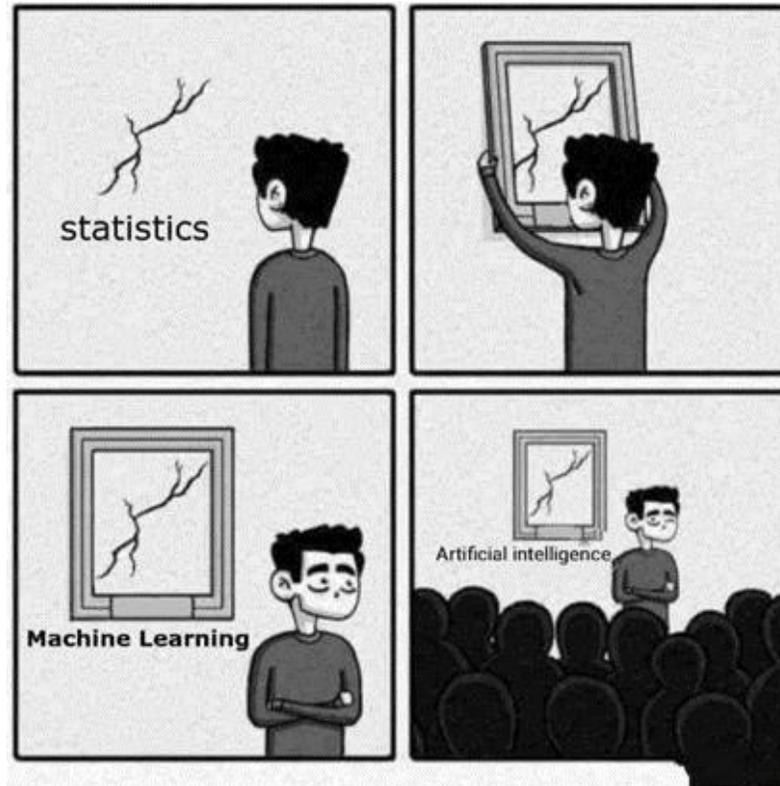


Физические законы, которым следует изучаемое явление и его математические описания находятся дополнительны.

# Интеллектуальное vs физическое восприятие реальности: феномен «спутанности»



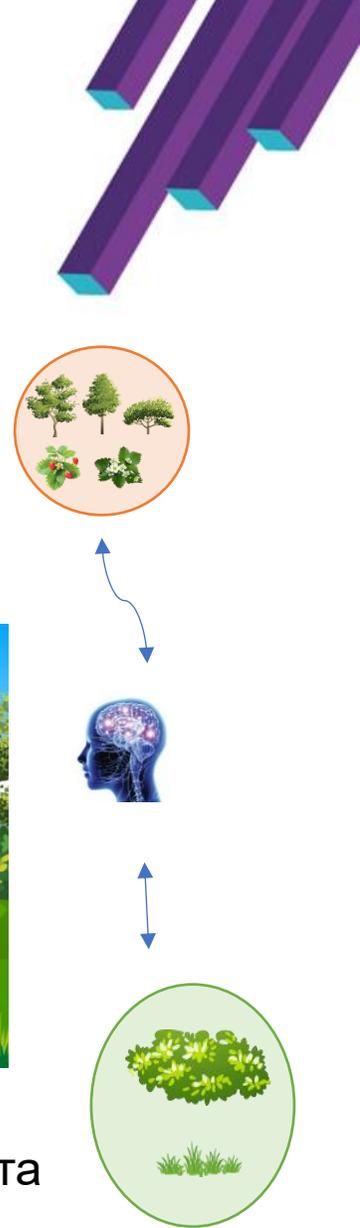
Метафоричность  
образов



Ограниченность знаний



Мультимодальность и  
невычислимость контекста



## Целостность восприятия как «информационная спутанность» частей объекта

мозг воспринимает образ объекта метафорически и быстрее, чем отдельные компоненты из которых этот образ “собирается”

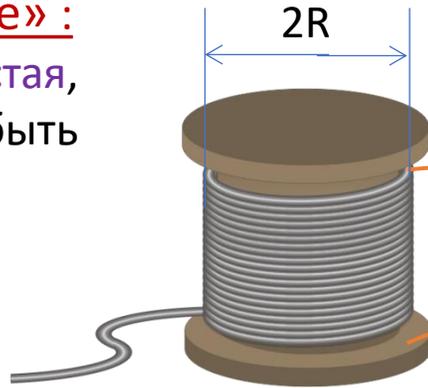


Думая о повышении реальной производительности компьютеров, на что же тратить энергию процессов вычислений ?:

1. На сохранение информации в форме «оптимальных кодов»
2. Использование этой информации на «обучение/научение вычислительных машин»

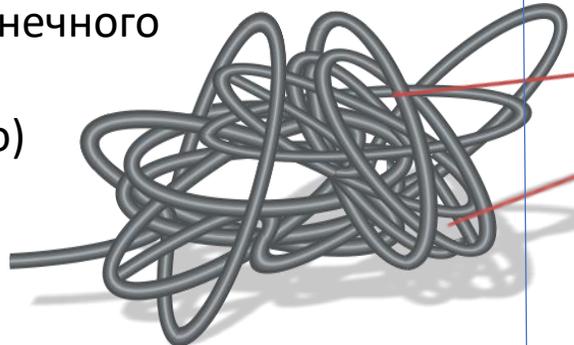
# Формализация понятия «малых» и «больших» данных в КН

Данные «малые» :  
структура простая,  
которая может быть  
закодирована»  
конечной»  
формулой



«Смысл» данных может  
кодироваться ЧИСЛОМ

Данные «большие»:  
структура сложная и не  
имеет конечного  
формального  
(математического)  
описания



«Смысл» таких данных может кодироваться  
словами и числами

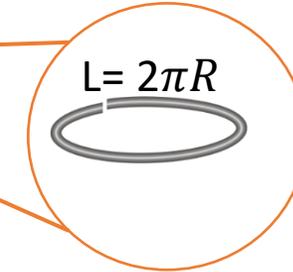
Когнитивные функции –  
выражение смысла  
символов и цифровых мер



Оценка меры сложности



Аналитические функции –  
кодирование по конечным формулам



Код  
объекта

«распутывание» как процесс  
воплощения «конечного» опыта

??? алгоритма нет

но есть «опыт» решения аналогичных  
задач

«вычисления» как процесс над  
смыслом данных - текста описания

## Интеллектуальное vs информационное взаимодействие : роль «кот Шредингера»



Суть:

Считается, что прямых аналогов квантово-механических систем в макром мире не существует

А если в описание состояние включить информационный фактор и **учесть характер «информационного воздействия» ?**

## Концепция экзо-интеллекта – учет характера информационного взаимодействия: (машинного) обучения и (концептуального) научения

«...я оглянулся посмотреть не оглянулся посмотреть ли она...» ???

Песня «Видение» М. Леонидов (1996)

Вопрос стоит так: не стоит ли «оглянуться» назад, чтобы понять возможности совмещения вычислительных алгоритмов решения прямых задач и алгоритмов решение обратных задач (интеллектуальных алгоритмов), опираясь на идеи, которые восходит еще к античной науке:

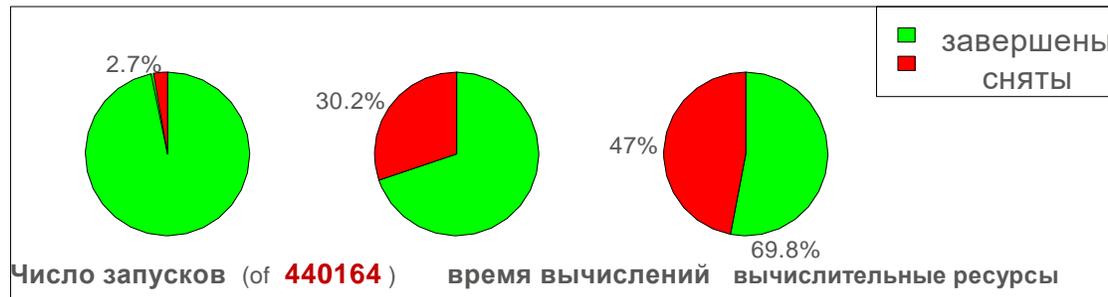
- Пифагору с концепцией иллюзии всего существующего, но реальности лишь чисел
- Платону с идеей, что существуют только идеи, а материальные объекты лишь их «тени»

**Вывод** : любое утверждение о результатах вычислений не являются бинарным (истина / ложь), а выражаются через условно вероятностные значения

Концепция экзо-интеллекта разрабатываемая в СПбПУб базируется на том, что принцип множественности моделей (В. В. Налимов) применяет к результатам решения задач моделирования, так и «машинного обучения», выделяя из множества «ВОЗМОЖНОГО»

# Роль процессов «обучения» машин в задаче повышения производительности СК

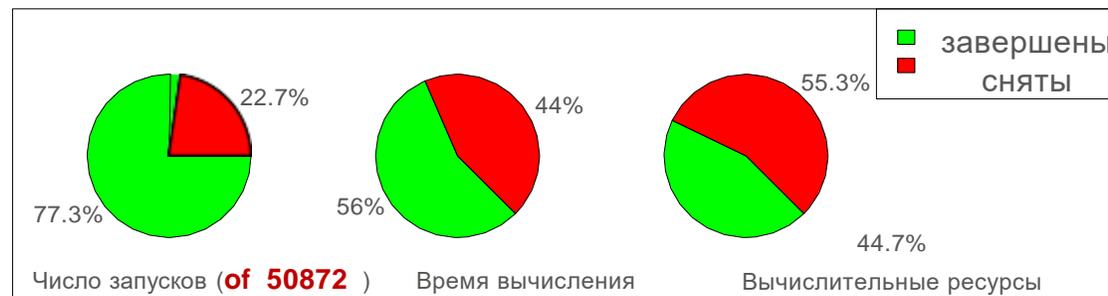
Общая характеристика эффективности для всех видов запусков заданий



## Класс эквивалентности 1: Автоматический запуск известных заранее программ



## Класс эквивалентности 2: Запуск прикладных задания «вручном» режиме



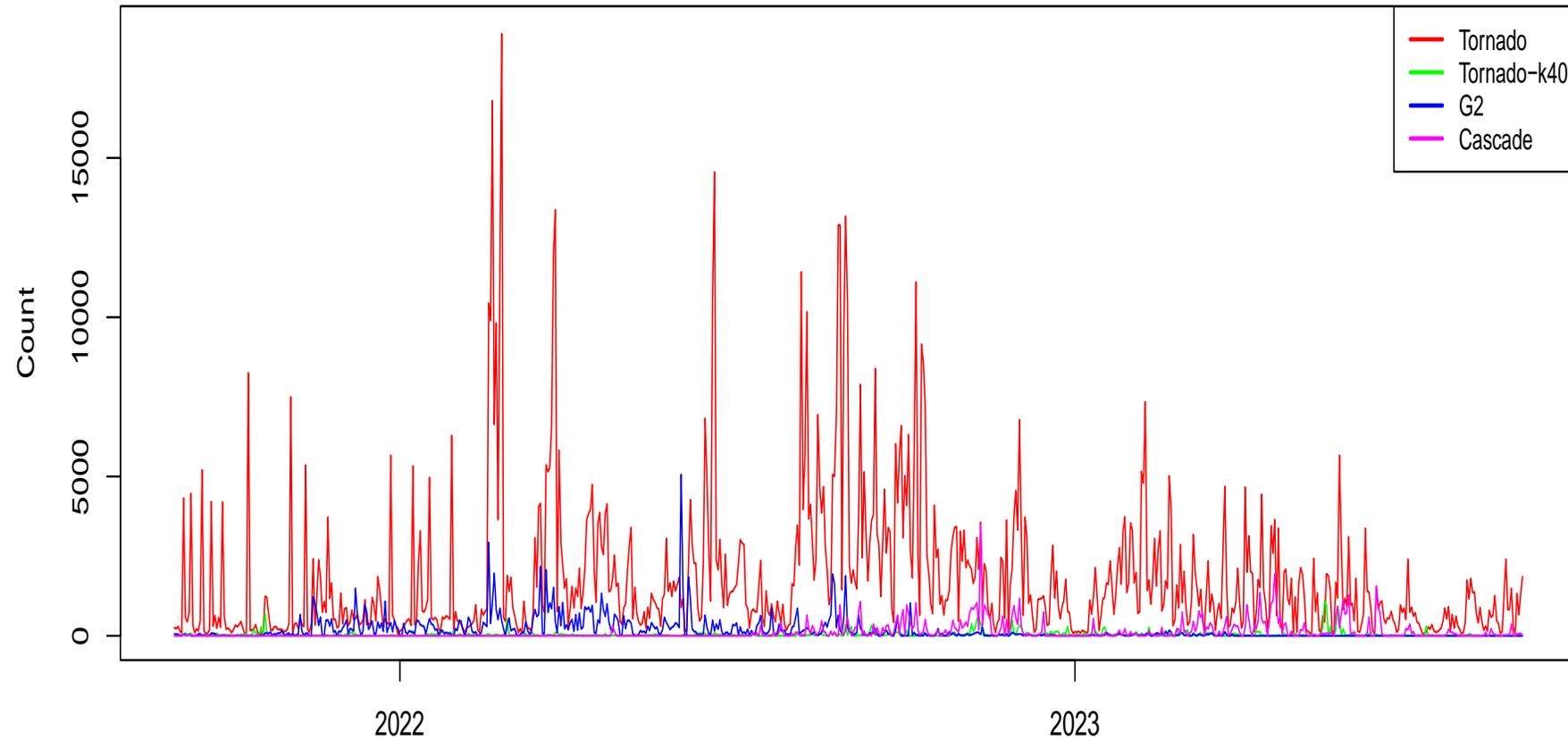
⋮

Если параметры заданий пользователей, **точно известны**, («энтропия» знаний о СК/задача =0): то **настройки процессов вычислений можно автоматизировать** (есть алгоритм решения)

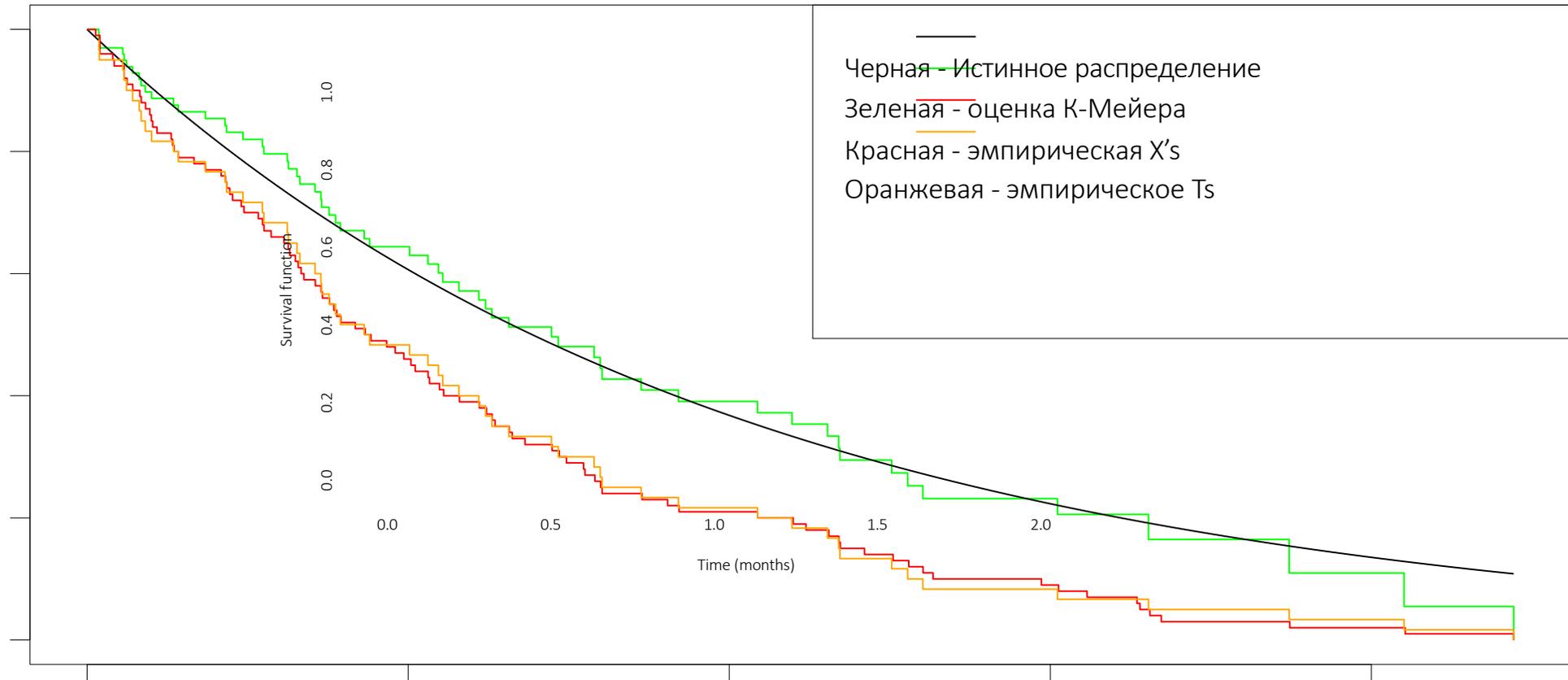
## Экспериментальные оценки влияния «обучения» как меры «успешного выполнения» прикладной задачи

Область знаний	Число запусков			Эффективность		
	COMPL	FAILED	TOTAL	Count	Time	Resource
Астрофизика	189	118	307	61.6%	35.3%	29.2%
Биоинформатика	17888	313	18201	98.3%	87.7%	80%
Биофизика	4747	755	5502	86.3%	67.5%	47.3%
Энергетика	2918	1130	4048	72.1%	81.6%	90.4%
Геофизика	458	1139	1597	28.7%	12.4%	10.8%
ИТ	605	413	1018	59.4%	77.2%	77%
Инжиниринг	4246	1447	5693	74.6%	69.3%	59.1%
Механика	551	1261	1812	30.4%	7.2%	6.5%
Физика	7377	4935	12312	59.9%	65.4%	65.1%
Радиофизика	340	42	382	89%	89.5%	59.7%

# Потока заявок для обработки на СК в статистически значимый интервал наблюдения

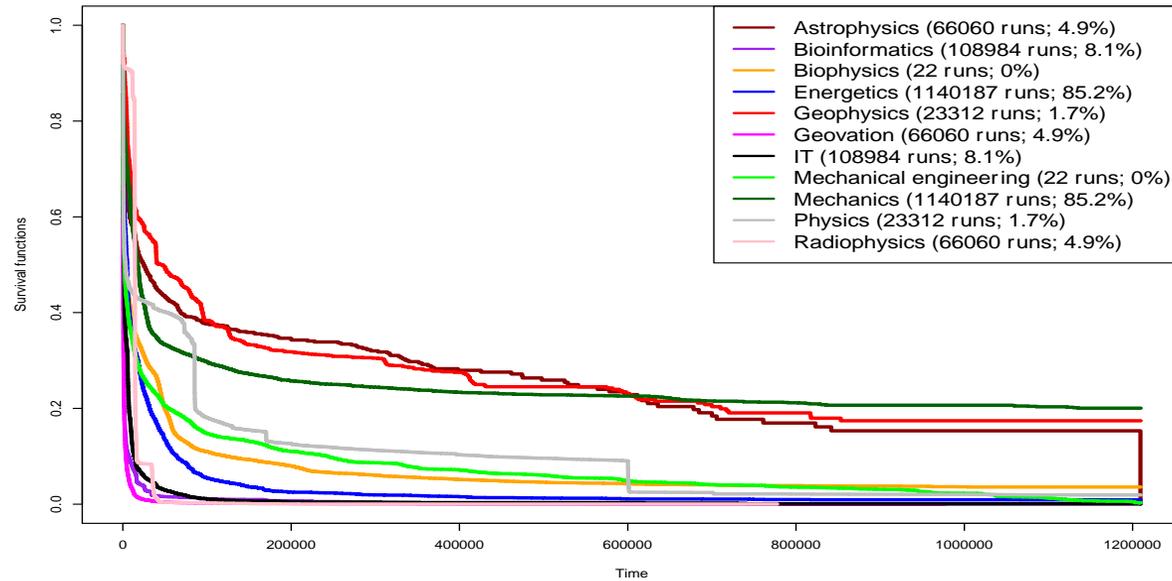


# Статистика «спутанных» успешных/не успешных запусков vs эмпирические распределения точного времени «отказа»



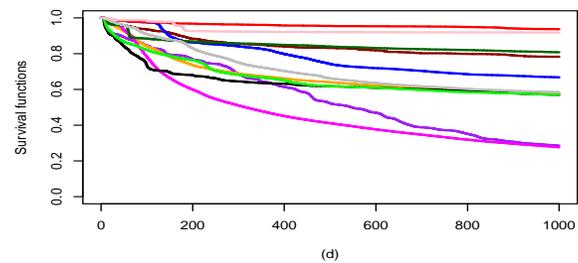
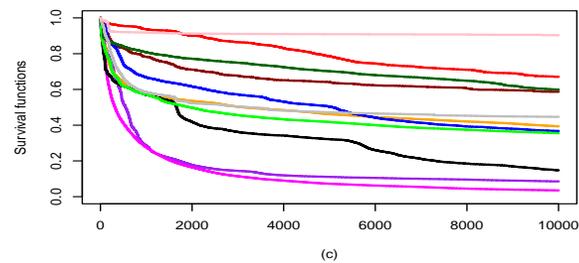
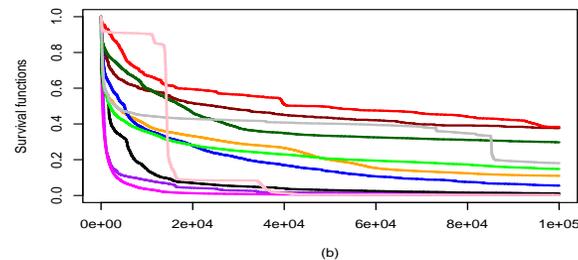
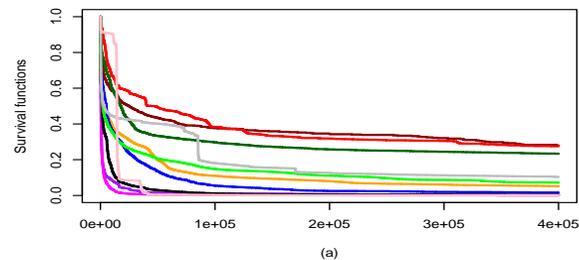
Вывод: эмпирическое распределение по наблюдаемым временам "отказов"  $T_s$  недооценивают реальную величину времени исполнения  $T$ .

# «кривые выживания» задач в СКЦ «Политехнический»

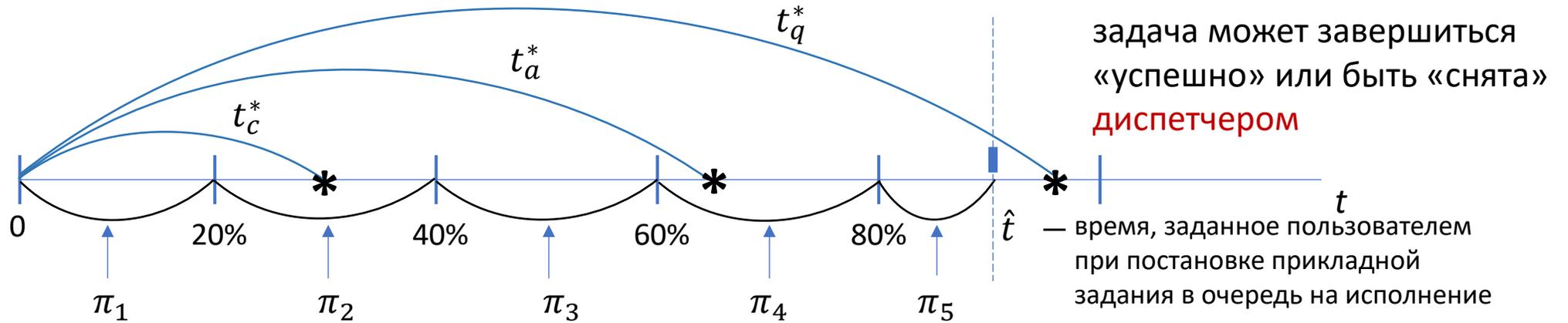


Эта функции определяют распределения времен успешного завершения задач в различных группах пользователей.

Если в конечный момент времени функция отказа имеет все еще достаточно большое значение, это еще означает, что большая часть задач не завершилась или завершилась неудачно (цензурированы).



# Формализация вычислительных процессов: в СКЦ функция «выживания» задачи и «полезности диспетчера»

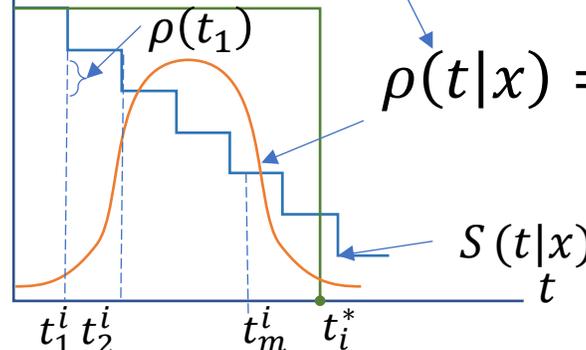


$\pi_i$  - доля задач, которые попали в  $i$ -й интервал (оценка вероятности того, что)

$\gamma_1$        $\gamma_2$       ...       $\gamma_m$

график функция выживаемости  
аналог гистограммы  
распределения:

$S(t|x)$  «минус» функция плотности



дискретные «приращения»

графика в точках

«событие»:  $\rho(t_1) = 0.05$   $\rho(t_2) = 0.08$

обозначения :  $u(t)$  – доля занятых узлов кластера;  $S(t|x)$  – функция выживаемости

задача  $q$   
превысила  
время  $\hat{t}_q$

произошло  
прерывание  
(деление на 0)

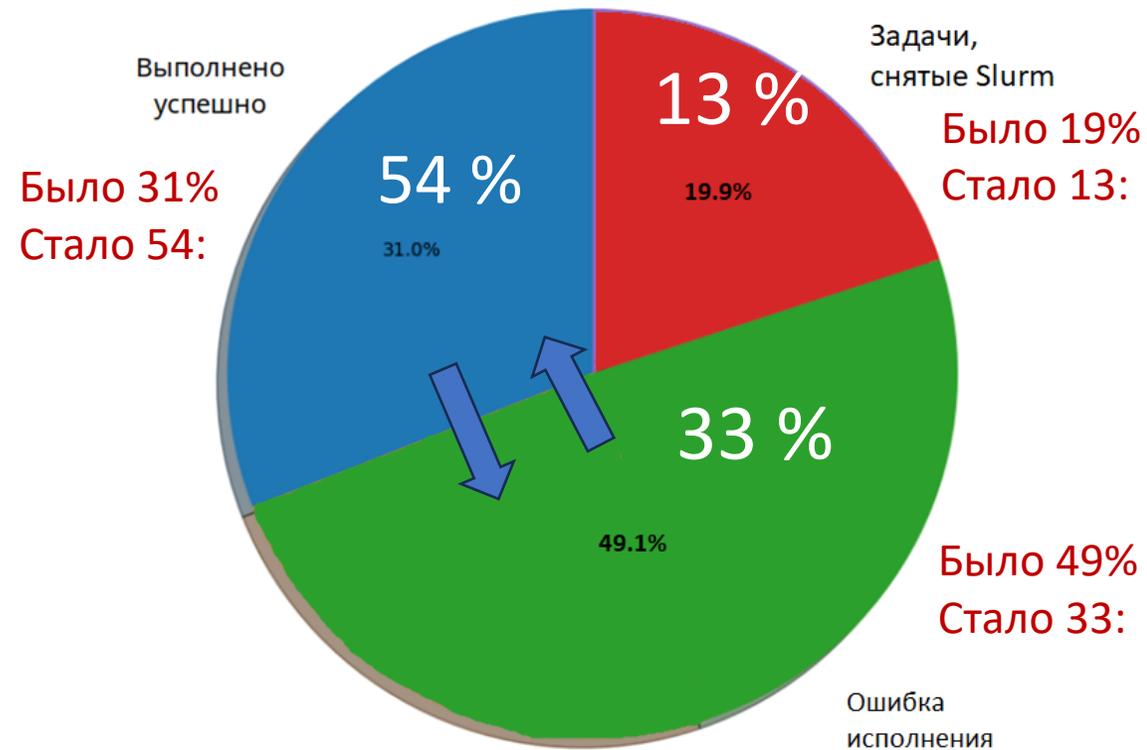
зацикливание  
задачи

Функция «полезности диспетчера»:

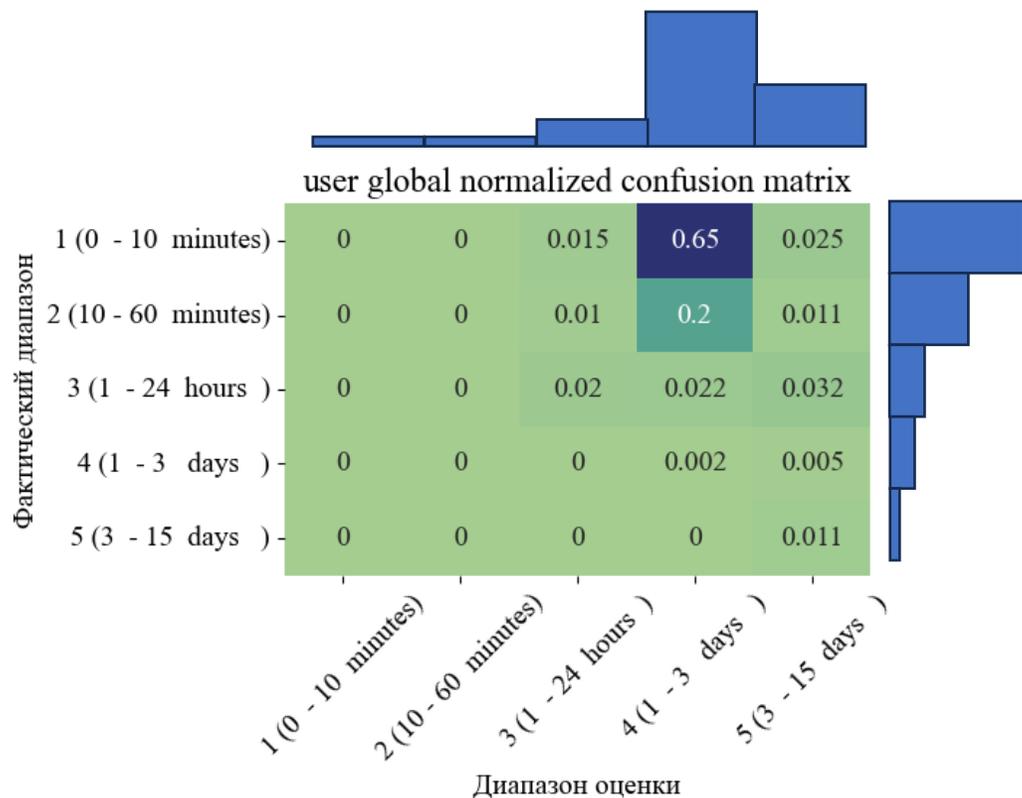
$$IU = \int_0^{t_{max}} u(t) \cdot \rho(t|x) dt$$

## Результаты «само-применимости» диспетчера гибридного суперкомпьютера

Суть: машинное обучение системы оценки времени выполнения прикладной задачи на основе «обучающей выборки», размеченной на основе метки - «прикладная задача успешно завершилась»



# Энтропия фон Неймана матрицы ошибок предсказания времени выполнения заданий



Строим матрицу плотностей  $A = [A_{m,f}]$  распределения предсказаний пользователя и фактической величины

$$A_{m,f} = P(y_{model} \in m \mid y_{fact} \in f) = \frac{\sum_i^S I(y_{fact}^i \in f \ \& \ y_{model}^i \in m)}{|D|}$$

$D$  – тестовая выборка

$|D|$  - размер тестовой выборки

$m$  – временной интервал модели прогноза

$f$  – временной интервал фактического времени исполнения задачи

$$S = \sum_i^N \lambda_i * \log \lambda_i$$

$$I = 1 - S$$

$A$  – нормированная матрица ошибок – аналоги матрицы плотности распределения фон Неймана для «спутанной» квантовой системы  
 $\lambda_i$  - собственные числа матрицы плотности распределения

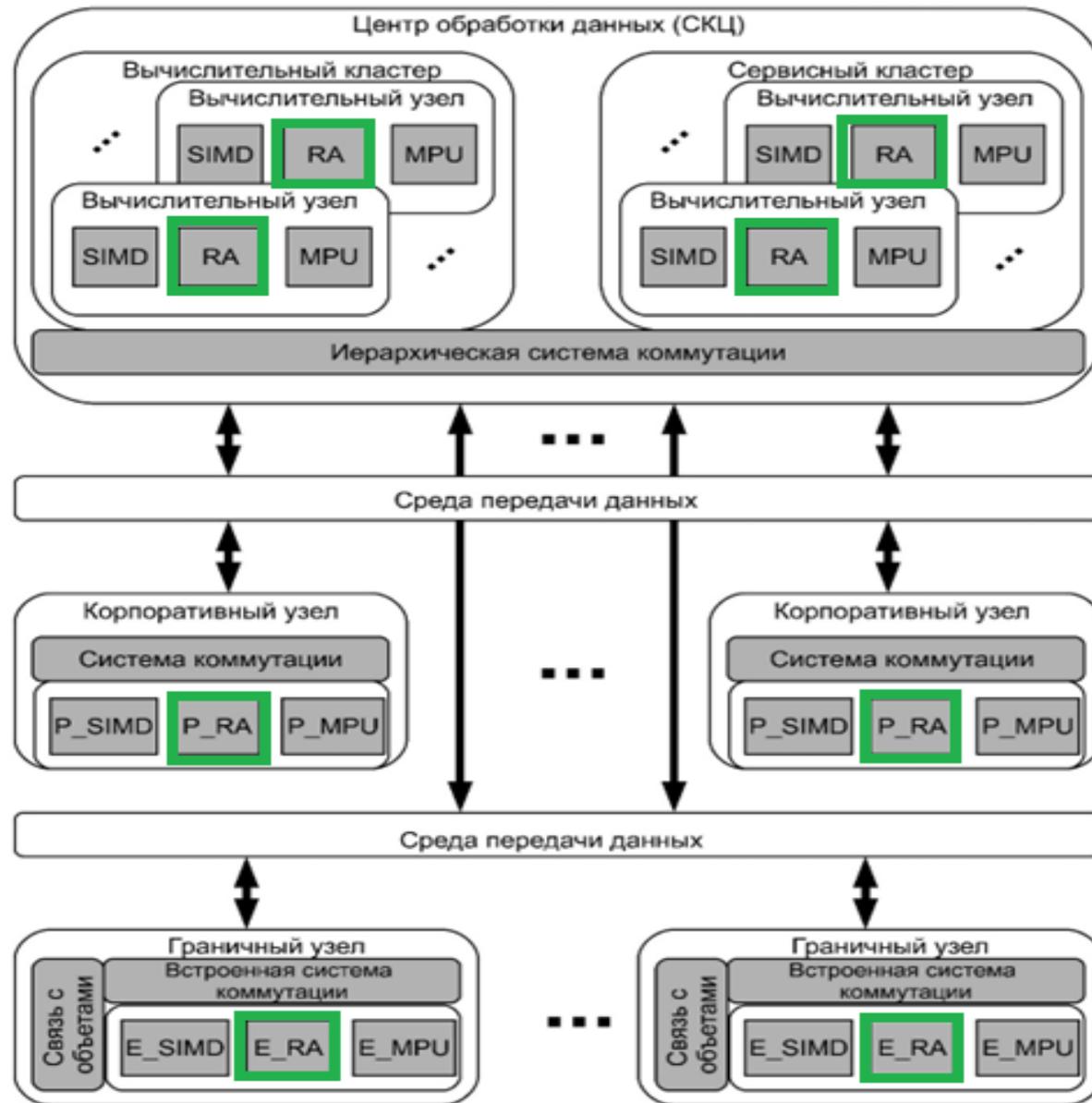
Энтропия фон Неймана – мера неопределенности состояния системы с конечным числом возможных состояний

# Архитектура обратимой интеллектуальной модели «программа-число-программа»

Уровень «**объяснения**» результатов:  
вычисления текстов (программ) как  
носителей распределения вероятности  
«смысла» вычисленного результата

Уровень «**машины Геделя**» - решения  
обратной задачи синтеза алгоритмов :  
«число-программа его вычисления»:

Уровень «**машины Тьюринга**» - прямого  
необратимого (числового) вычисления :  
«программа вычислений – число»



# Модель описания сложной системы на основе «случайного леса + трансформер»

Имеется 1)

**обучающая выборка**  $(x_j, y_j)$ , где  $x$  – вектор признаков (давление, частота с/с),  $y$  – **реакция организма** (вычисленные индексы Робинсона, Старра, Кердо....),

2) индексы  $j \in J_k(x)$ , попадают совместно с вектором признаков  $x$  в один и тот же  $p$ -й лист  $k$ -го дерева классификации.

$(x_j, y_j)$ , представим в виде **предложения**  $s$ , состоящего из слов, обозначаемых как  $w_i^{(k,p)} \in J_k(x)$ , из этих слов «собрать» диагноз и на основе клинического опыта «выбрать» корректирующее воздействие, которое «подать на организм пациента.

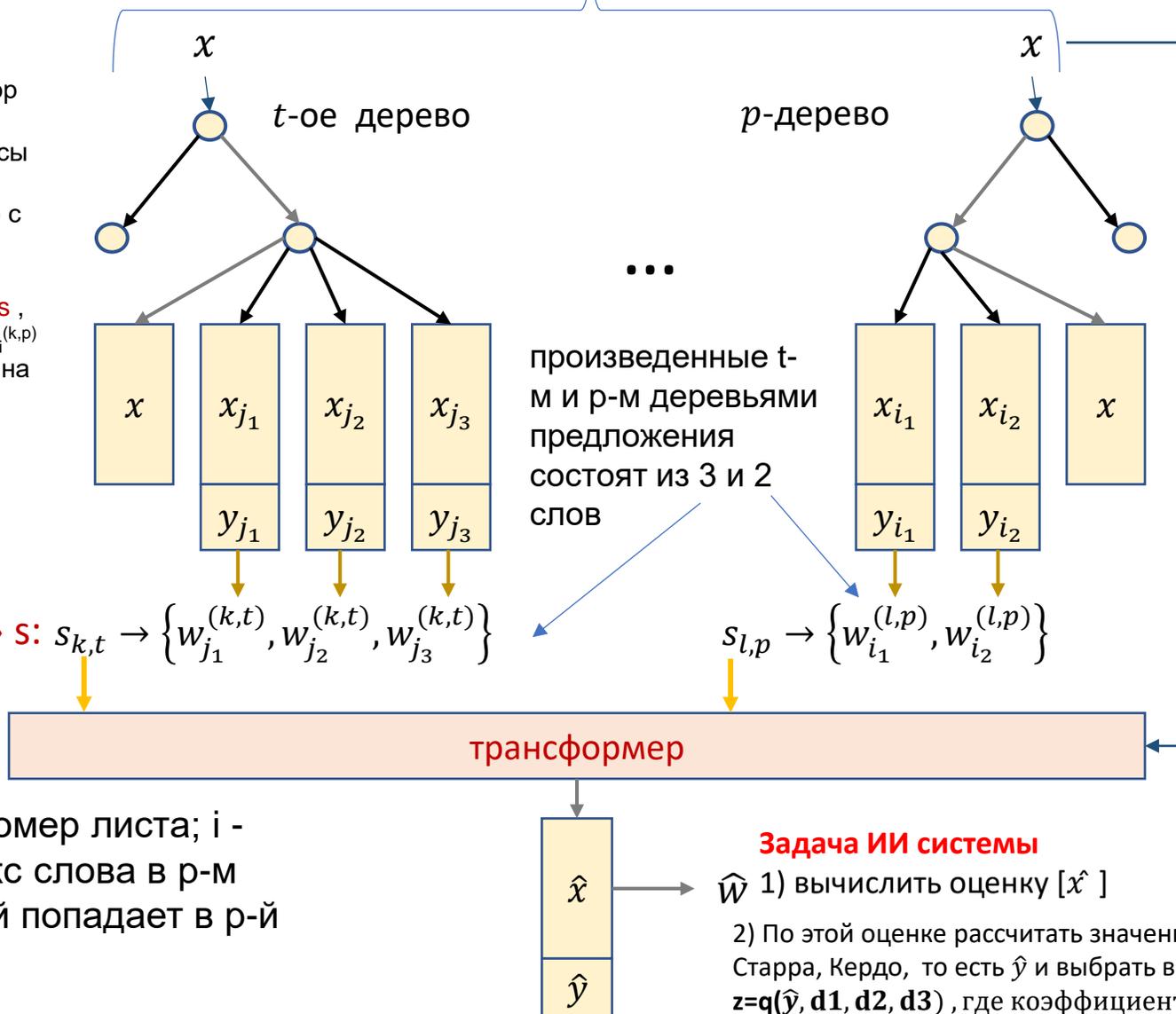
$i \in J_k(x)$ ,

$$s_{k,p} = \{nw_{i1}^{(k,p)}, \dots, w_{ip}^{(k,p)}\}_{1ir}$$

«Предложение»  $s: s_{k,t} \rightarrow \{w_{j_1}^{(k,t)}, w_{j_2}^{(k,t)}, w_{j_3}^{(k,t)}\}$

$k$  - номер дерева;  $p$  - номер листа;  $i$  - индекс примера (индекс слова в  $p$ -м предложении), который попадает в  $p$ -й лист.

Деревья классификации возможных состояний системы



ИЗ КАЖДОГО «ЛИСТА» ДИРЕКТЬЕВ МОЖЕТ ВЫХОДИТЬ РАЗНОЕ КОЛИЧЕСТВО «ВЕТВЕЙ»:

- 1) из листа  $t$ -ого дерева выходит три «слова» описания реакции, организма, а из листа  $p$ -дерева выходит описание, состоящее из двух «слов»
- 2) На вход системы подается текущий вектор « $x$ » и соответствующие ему значения индексов Робинсона, Старра, Кердо.

## Задача ИИ системы

- 1) вычислить оценку  $[x^*]$
- 2) По этой оценке рассчитать значения индексов Робинсона, Старра, Кердо, то есть  $\hat{y}$  и выбрать вид и форму воздействия  $z = q(\hat{y}, d1, d2, d3)$ , где коэффициент  $d_i$  получаются также в процессе обучения **для каждого пациента отдельно**

# 2-х контурная интеллектуальная архитектура СК



## Выводы

- Новые абстракции, такие как как «выживаемость прикладных заданий» и «полезность диспетчера», могут стать **основой информационно-вычислительной**
  - «теории интеллектуальных вычислений».
  - успешно использоваться для решения задачи «объяснительного интеллекта»:
- Перспективы
  - внедрить механизм самовнимания для непараметрических моделей СК класса «вход-выход»
  - оптимизировать **параметрическую модель ЦКП** путём решения совместной «задачи выживаемости» прикладных задач и «полезности диспетчера», управляющего процессами вычислений

Спасибо за внимание!

