

# Технологии машинного обучения и «байт-код процессов мышления»

СКЦ «Политехнический»

7 февраля  
2024 г.



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

Что для одного ошибка, для другого  
- исходные данные.  
следствие  
из закона Мерфи



Задача развития науки состоит в целостности описания мироустройства путем построения «правильных» теорий (концепций).

В поиске новых научных идей применения «классических» технологий компьютерных вычислений решения «прямых задач» (имеют единственное решение) в сочетании с использованием методов машинного обучения решения «обратных задач» (имеют множество решений) цель экспериментальных исследований

- Что надо для этого: сформировать расширенное пространство технологических возможностей, в котором эффективно решаются «супер» прямые и обратные задачи «политехнического уровня»

# Как «математика и компьютерные науки» воплотились в технологии ИИ -

Гипотез Джеффри Хинтона (автор «глубокого обучения»):

- «**Биологический интеллект** нужен был Природе, чтобы появился **«цифровой интеллект»**.
  - Мотивация: цифровой интеллект требует для своего повеления (развития) **много энергии**, поэтому нужен был предшествующий ему "биологический интеллект", создавший нужную **энергетику**

Ряд сложных вопросов, на которые мы будем пробовать найти ответы:

- **Как и чем «математика и компьютерные науки»** могут ответить на вызовы **современной** науки и техники ?
  - поиск решений за границей интуиции
  - создание экзо-интеллекта
  - моделирование процессов мышления

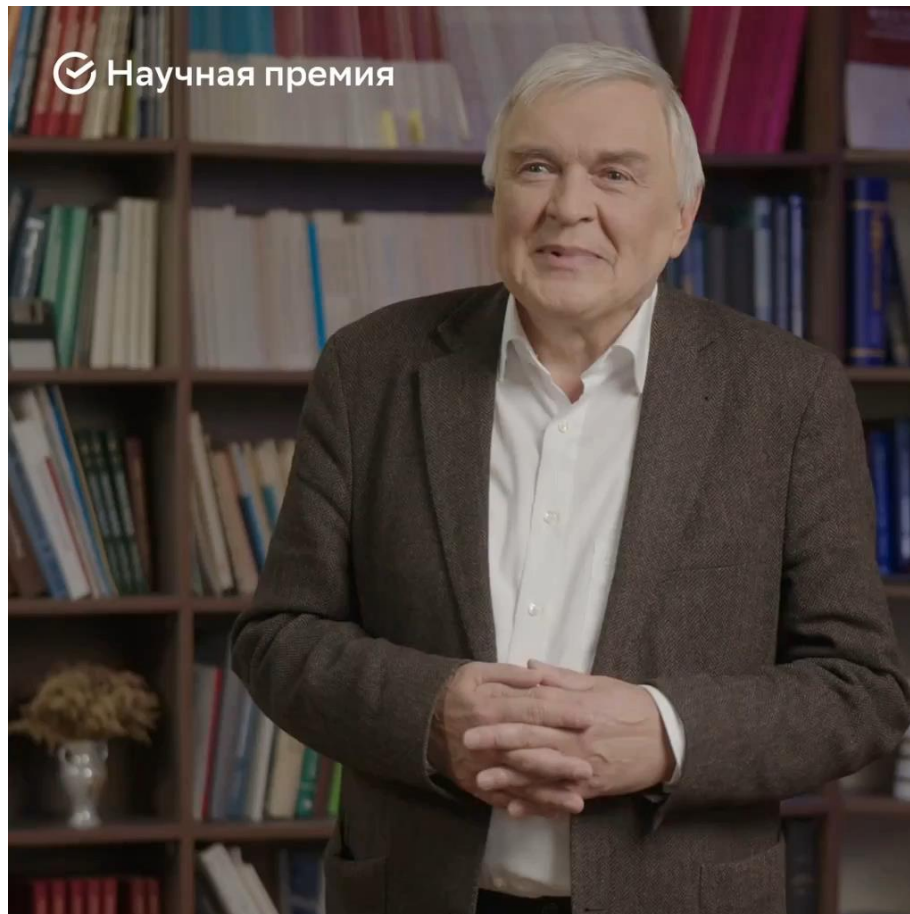


*«My view is throw it (AI) all away and start again»*

Джеффри Хинтон



## Академик Евгений Тыртышников (МГУ)



Главная задача — это достижение фундаментального «взаимопонимания»

- между **людьми и машинами**,
- между **людьми с участием машин**,
- между **самими машинами**.

Решения этой проблемы требует

- создания специального **метаязыка.....с** различными диалектами и модальностями
- **наделение** компьютеров способностью моделировать ... процессы машления

«....цифровой аналог мозга » ....

... AI is nothing but digital brains inside large computer

Ильей Суцкевер, основатель

OpenAI



# Технологии искусственного интеллекта как проблема обратного моделирования

«...я оглянулся посмотреть не оглянулась ли она...» ??? ... не «оглядываемся» ли мы на проблему, которая принципиально не имеет решения ???

проблемы моделирования не отделимы от гипотез:

- 1) скептицизма (**Пиррон** 3 до н. э. - знания об окружающем мире не соответствуют реальности),
  - 2) чистого разума (**И. Кант**, 18-19 вв. существование «вещь в себе» и «вещь для нас»),
  - 3) теоремы неполноты (**К. Гедель** 20 в. формальные системы, либо противоречивы, либо неполны)
  - 4) принципа множественности моделей (**В. В. Налимов**, 20 в. объекту мира = множество моделей).
- Из этих гипотез и теоремы Геделя следует :
- СК как инструмент не может **сам** убедиться в **истинности вычисленных решений**
  - Любая гипотеза о свойствах полученных решений (истины, ложны, вероятны) **не окончательная**;
  - 4 принципа компьютерной **архитектура СК фон Неймана** отвечают **гипотезе скептицизма**

# Пояснения к идее Платона о «тени реальности»

Нет ничего практичнее  
хорошей теории.  
*Л. Больцман*



Проблема «энтропии  
символа» и сложность  
»обратного моделирования»

Символ

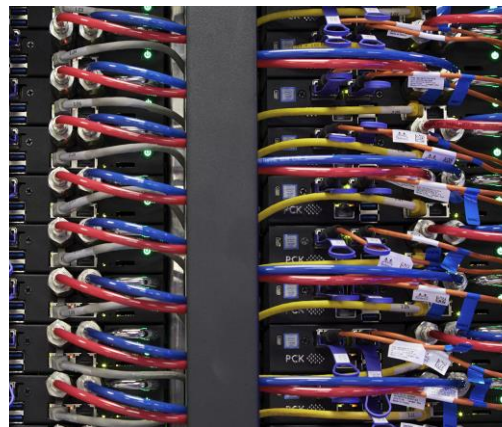
Объекты реальности

# Объект экспериментальных исследований СКЦ «Политехнический»

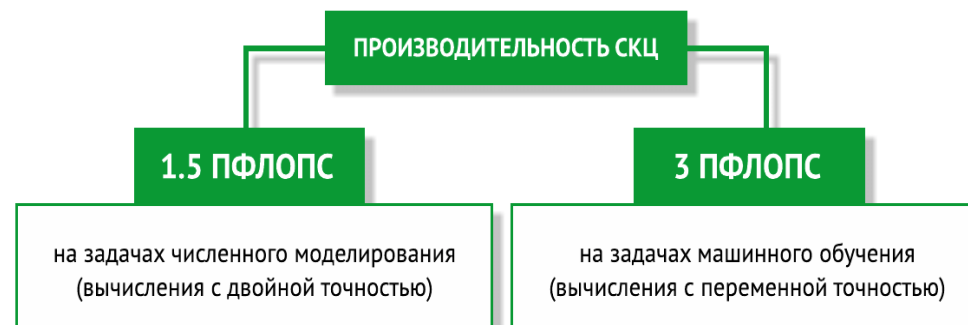
1. «Первый» по производительности гибридный суперкомпьютер в России среди организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования (согласно рейтингу [top50.supercomputers.ru](http://top50.supercomputers.ru));
2. Десятый по производительности суперкомпьютер в России (согласно рейтингу [top50.supercomputers.ru](http://top50.supercomputers.ru));

Уровень сложности объекта:

- Более 2000 пользователей
- Более 130 научных групп
- Более 40 промышленных организаций
- > 25 миллионов узло-часов за 5 лет работы
- > 2 млн выполненных расчетных заданий



Действующий макет типовой производственной информационно-технологической системы - СКЦ «Политехнический»



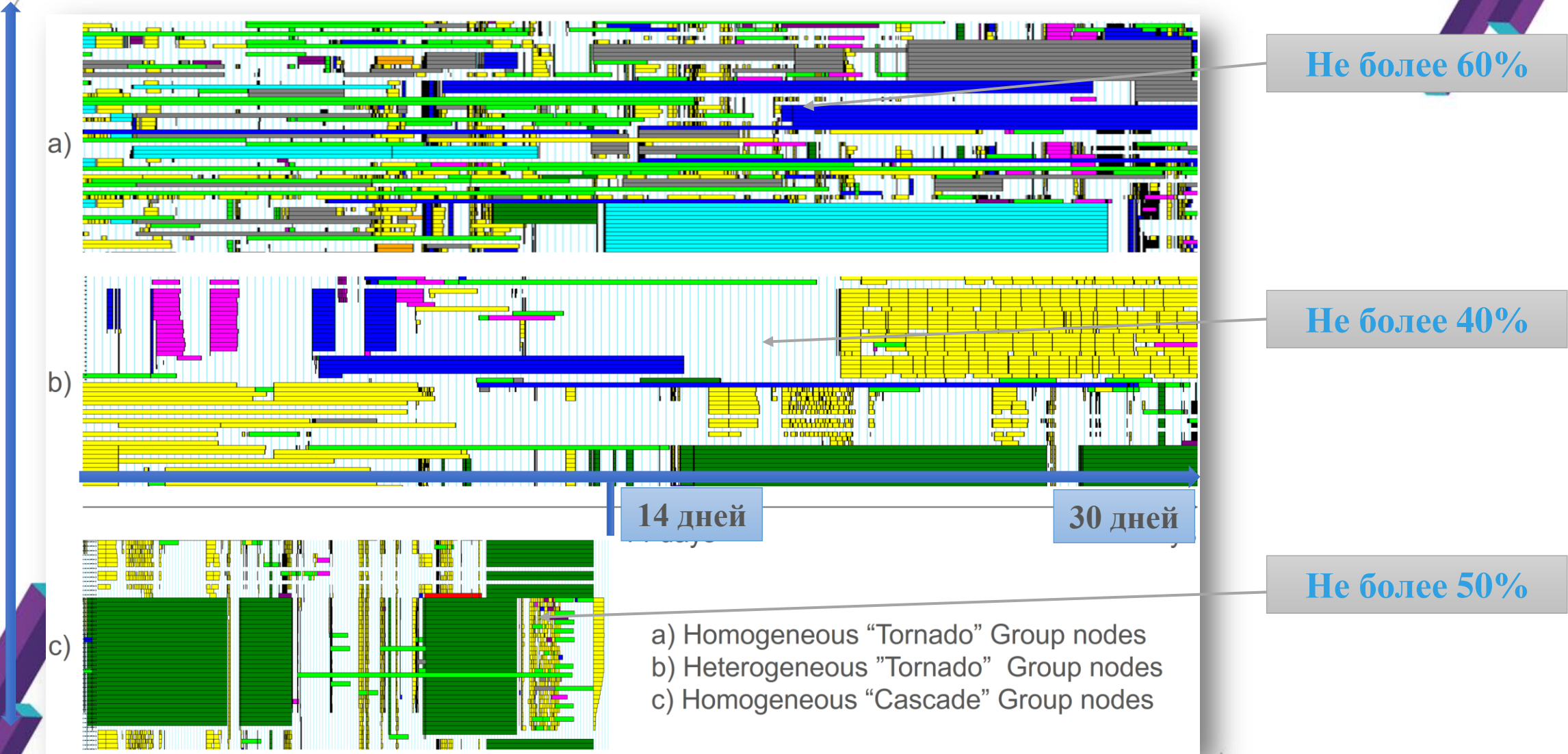
668 узлов CPU+GPU /Nvidia A100 + 20 узлов FPGA, сетевая инфраструктура – 10-56 Гбит/с, Потребление энергии – 1МВт



# Производственные энерго-вычислительные характеристики СКЦ



# «Энтропия» реальной загрузки гибридного СК «Политехнический»

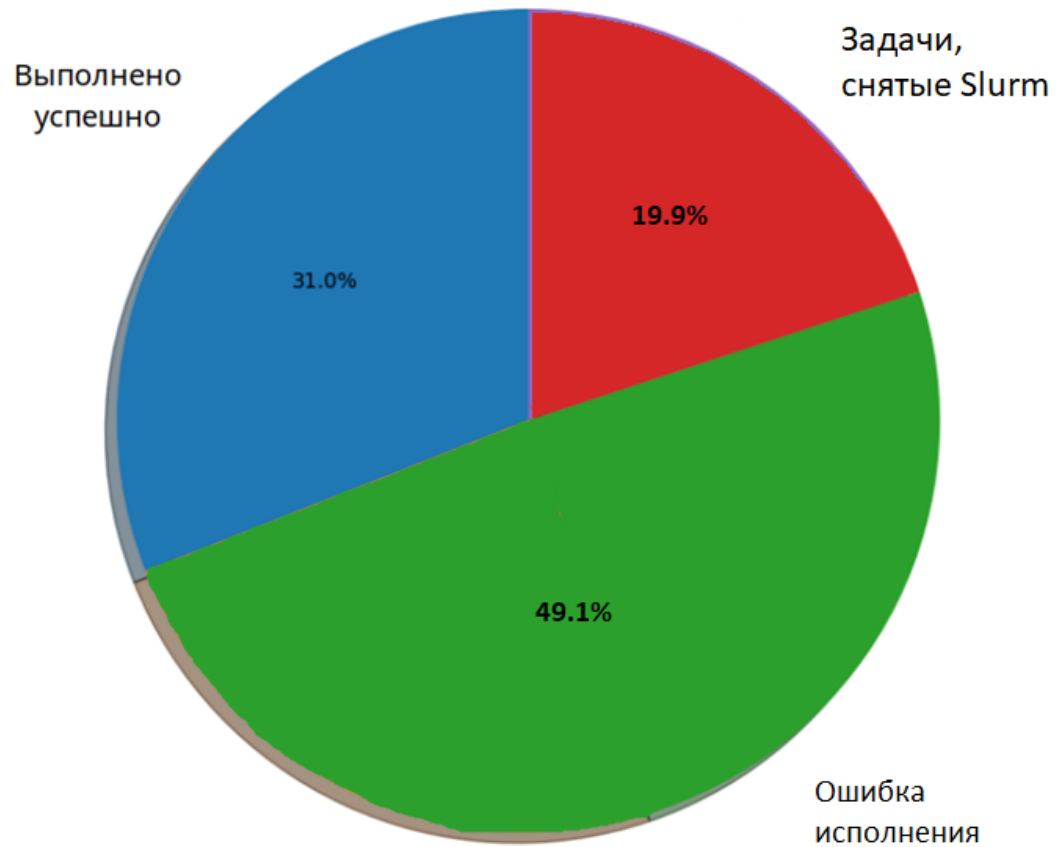


Потребляемые узлы, шт.

# Производственные характеристики СКЦ как центра коллективного пользования



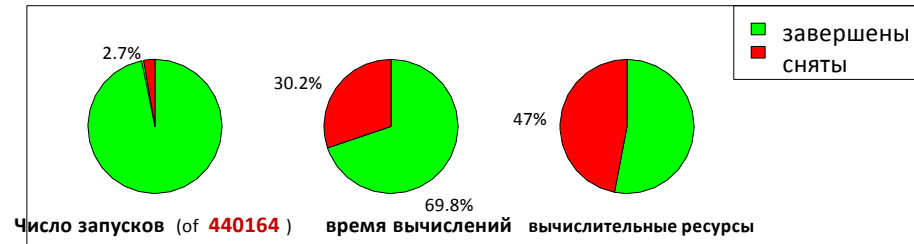
# Проблема «выживания» заданий пользователей в среде СК



Итого: Успешно выполненные задачи составляют **около 1/3** от общего числа заявок пользователей

# Производственные характеристики СКЦ как объекта для автоматизации и «машинного обучения»

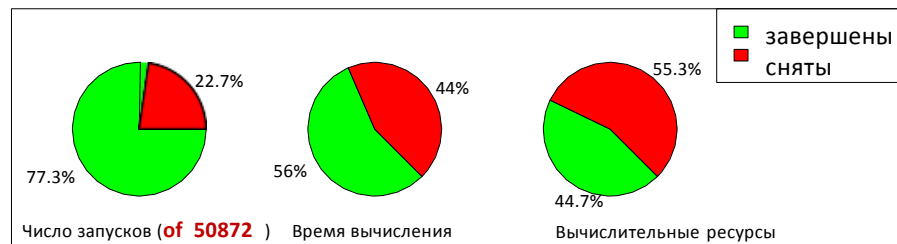
Общая характеристика эффективности для всех видов запусков заданий



Автоматический запуск «известных» заданий ГПН



Запуск «персональных заданий» в ручном режиме

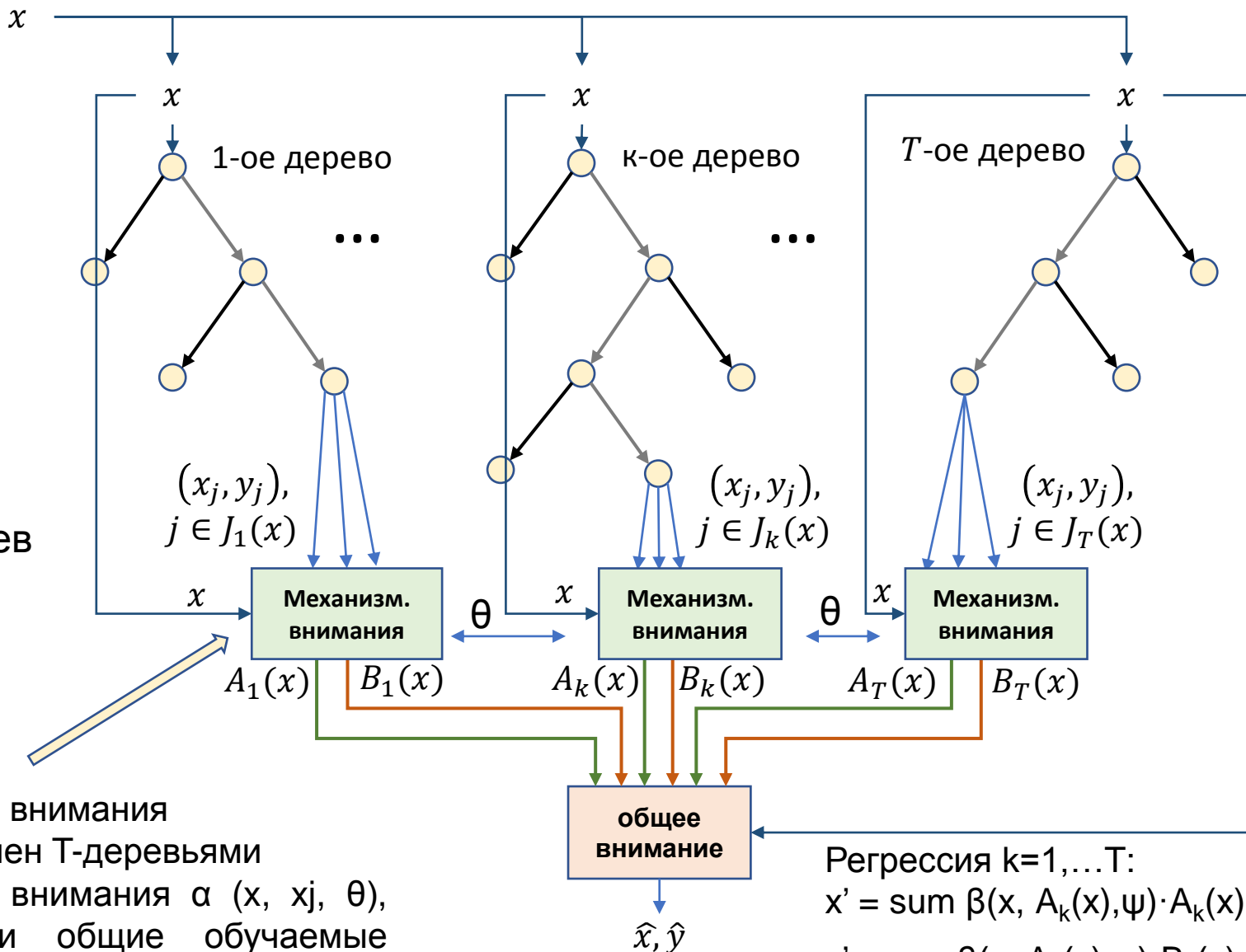


## Возможности машинного «обучения» СК:

При использовании прикладных заданий, параметры которых можно с высокой точностью прогнозировать, процессы вычислений в СК можно «интеллектуально» автоматизировать, повышая их реальную производительность

# Методы решения : использование «случайного леса» деревьев решений с механизмом внимания

Значительное повышение «объяснимой» точности решения задачи классификации достигается при использовании гибридного ансамбля («лес» + регрессия) деревьев решений с механизмом внимания («голосования»)



Механизм внимания представлен T-деревьями с весами внимания  $\alpha(x, x_j, \theta)$ , имеющими общие обучаемые параметры  $\theta$

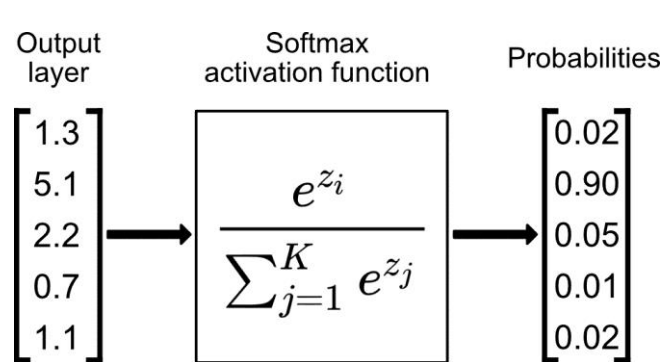
Регрессия  $k=1, \dots, T$ :

$$x' = \sum \beta(x, A_k(x), \psi) \cdot A_k(x),$$

$$y' = \sum \beta(x, A_k(x), \psi) \cdot B_k(x),$$

# Уточнения используемого понятия: «Механизм внимания»

В общем случае для описания сложной промышленной системы можно использовать **непараметрические**



модели:  $y = \sum_{i=1}^N \alpha(q, k_i) v_i$

в которых «ядро» модели

$$\alpha(q, k_i) = \text{softmax}_i \left( \text{score}(q, k_j) \right)_{j=1}^N$$

$q$  – query –

запрос

$k_i$  – key –

ключ

$v_i$  – value –

значение

В этом случае «механизмом внимания» называется преобразование действительных значений «ядра» модели  $\alpha(q, k_i)$  в возможность (можно интерпретировать как вероятность прогнозируемых выходных классов) совершения некоторого действия.

**Комментарий:** непараметрическое преобразование эффективны для

- задач моделирования сложных последовательностей (предложений естественного языка)
- обработки произвольного числа пар сопряженных данных (ключ, значение)
- оптимизации функции  $\text{score}(q, k_i) \propto q^T k_i$ ,

$$\text{либо } (W_Q q)^T (W_K k_i) = q^T W_Q^T W_K k_i = q^T W k_i$$

# Новые методы решения : использование моделей трансформаторов совместно со «случайным лесом»

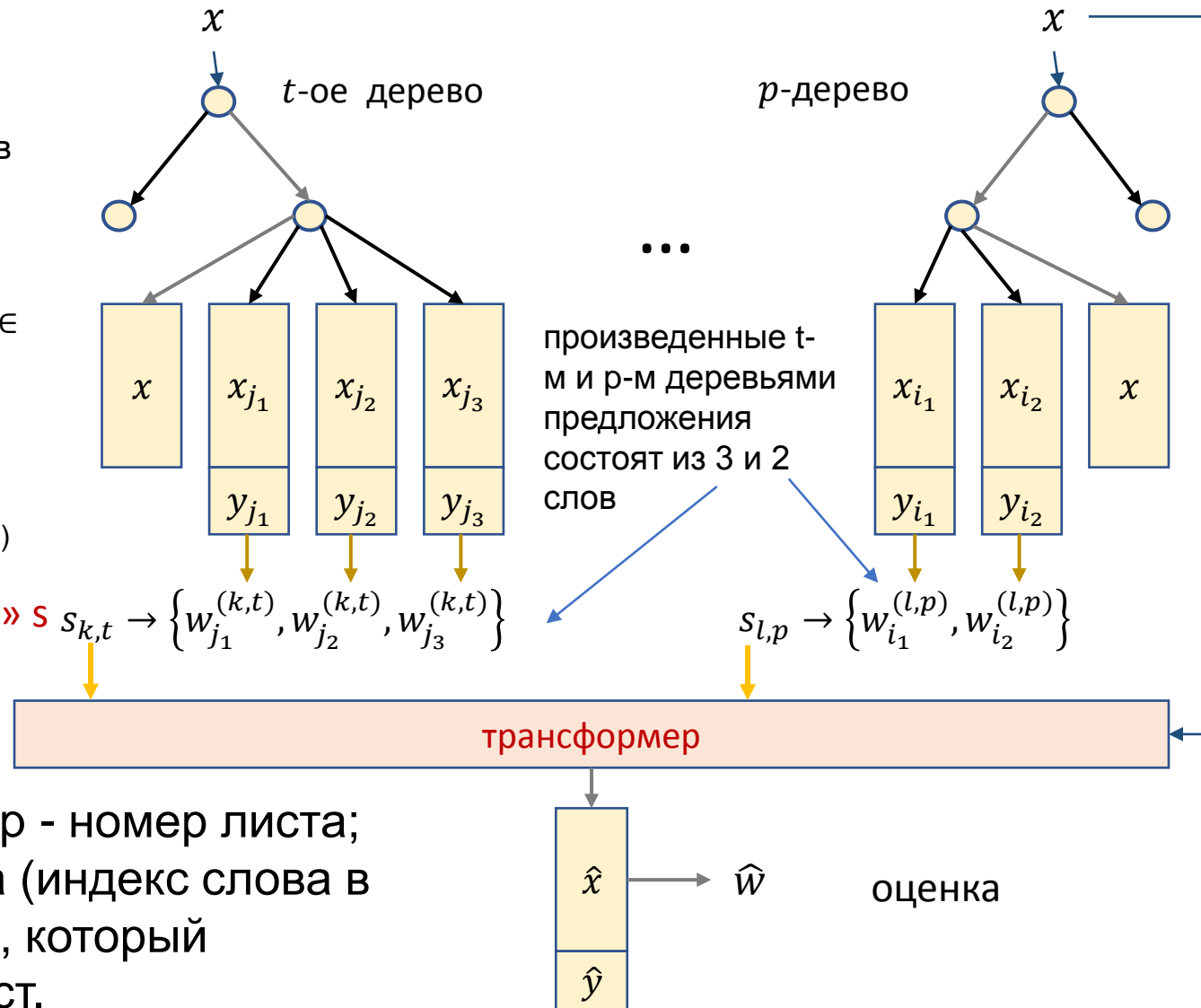
**набор примеров**  $(x_j, y_j)$ , где  $j \in J_k(x)$ , которые попадают совместно с вектором признаков  $x$  в один и тот же  $p$ -й лист  $k$ -го дерева, **представим в виде предложения  $s$** , состоящего из слов, обозначаемых как  $w_i^{(k,p)} \in J_k(x)$ ,

$i \in J_k(x)$ ,

$s_{k,p} = \{nw_{i_1}^{(k,p)}, \dots, w_{i_p}^{(k,p)}\}$

«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.





## Экспериментальные исследования

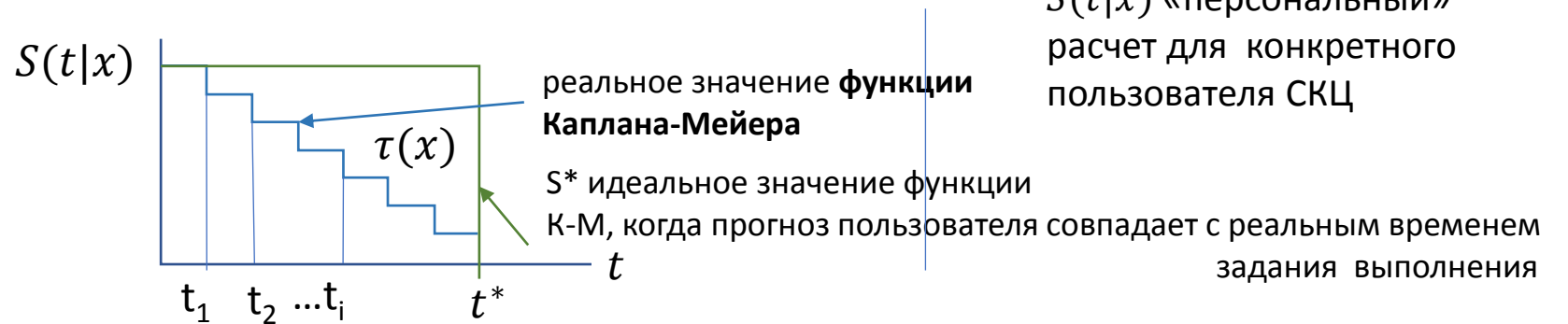
- Объектом исследований являются ... «прикладные задачи», которые исполняются в СК
- Предметом исследований выступают три рода сущностей : 1) время исполнения задачи в СК; 2) размерность ... пространства решений по планированию загрузки вычислительных ресурсов; 3) отношение числа успешно завершённых задач к объёму числа загруженных в СК зада пользователей. Эти три аспекта присутствуют в изучаемых объектах и процессах одновременно.
- **Число** описывает дискретные свойства структуры (предмет арифметики), а **Размерность** – непрерывные свойства (предмет алгебры и топологии .
- **Морфизмы** объединяют модели состояния отдельных «объекты» исследования с процессами их непрерывного преобразования в СК среде.
- Нужна идея, посредством которой можно не только **описать** на **метаязыке** суть решаемой задачи, но так, чтобы «слова» из этого описания можно было **АВТОМАТИЧЕСКИ** перевести в «**действия**» - то есть согласовать состояния «объектов» и состояние вычислительной среды, рассматривая их как «единое целое» функциональное пространство с заданными свойствами

# Новые «абстракции», используемые для повышения реальной производительности СК :

## Абстракции

- а) «выживаемости» задач в СК
- б) «полезности» диспетчера» СК

1. «Персональный» эффект от изменения функции выживаемости задания зависит от точности оценки времени решения  $t^*$  прикладной задачи



2. «Функция полезности» диспетчера СК характеризует «средний» эффект от загрузки узлов СК при условии **успешного завершения** «прикладного задания»

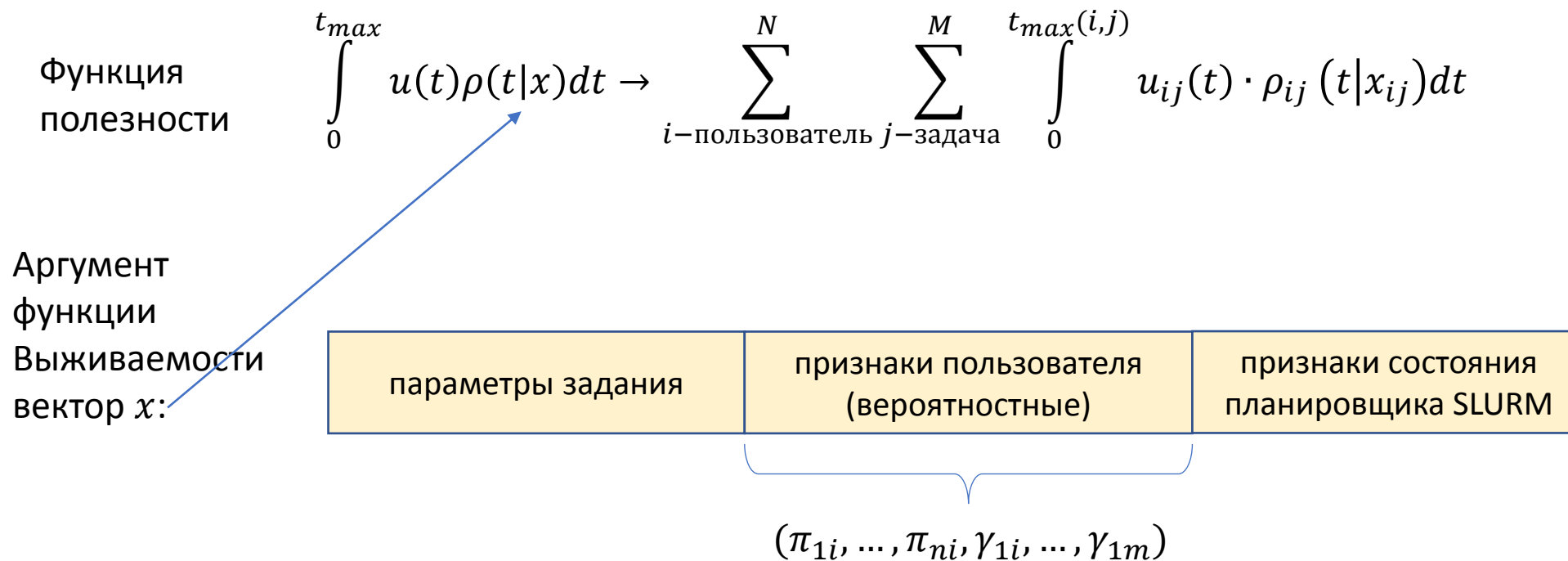
в общем случае:

$$IU = \int_0^{t_{max}} u(t) \frac{\partial S(t)}{\partial \tau} dt = \int_0^{t_{max}} u(t) \rho(t) dt$$

в случае диспетчера СК

$$IU = \sum_{i-\text{пользователь}}^N \sum_{j-\text{задача}}^M \int_0^{t_{max}(i,j)} u_{ij}(t) \rho_{ij}(t|x_{ij}) dt$$

# Структура аргументов функции «полезности» диспетчера СК



**Комментарий:** часть вектор  $x$  при формировании заявки самому пользователю не известно. Эти данные необходимо оценивать в процессе работы СК.

**Вопрос:** как это сделать, решалась ли эта задача раньше и в чем формальная сложность этой задачи/

## Историческая справка

- Идея **метаязыка** уходит своими корнями к **Р. Луллию** с его методом выведения истин из общих понятий и к
- **Г. Лейбницу** с идеей создания алфавита человеческой мысли и философского исчисления.
- Он допускал вычисления не только над числами, но и над словами и возможность формализовать операции над ними по строгим правилам логики. Подходы к созданию метаязыка и набор принципов логики для формализации идеи истины разработаны **А. Тарским**
- Существует модель построения семантических пространств как топологических структур, но тексты в таком пространстве представляют собой **комбинации слов и предложений** без связи с контекстами и смыслами.



## Какие есть возможности

- Глобальная цель: «Противостояние» энтропии возможных решений – что и есть целевая функция процессов мышления.
- Разум выступает механизмом поддержания порядка в процессах мышлении подобно механизму упорядочения биологических процессов хромосомными молекулами
- Считается, что способность людей структурно излагать мысли на естественном языке – врождённая часть их генетической программы (Н. Хомский). Можно ли этой способностью наделить «программный автомат»- СК ?
- Необходимо упорядочение информации на: 1) естественном языке описания цели с указанием фундаментальных ограничений (вычислимость, перечислимость, разрешимость) , 2) с помощью моделей представить имеющее множество экспериментальных фактов; 3) реализовать алгоритмы и получить оценки , которые сопоставить их соответствие сформулированным целям

# Обобщение: от «машины Тьюринга» к мультимодальному интеллектуальному трансформеру ( воплощению «машины Геделя»)

«В начале было **Слово**»  
Евангелия от Иоанна

Вычисления чисел

Вычисление чисел, слов и их смыслов

Эра «ПСИХОЗОЯ» Вернадского

или открытых «интеллектуальных» СК платформ, вычисляющих «СМЫСЛЫ, генерируемые LLMs» мультимодальных предложений

Эра механических автоматов, исполняющих один алгоритм, вычисления



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



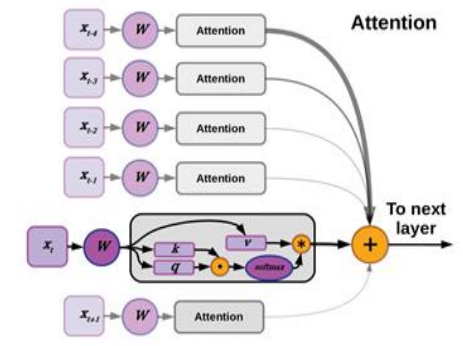
эра программных автоматов, вычисляющих числа с помощью алгоритмов

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

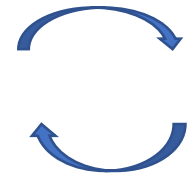
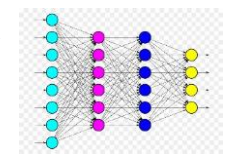


«Все есть **число**»  
Пифагор 570-490 до н.э.

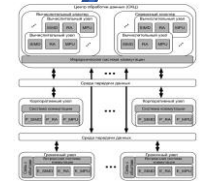
X-входные данные и описание заданий



Y-выходные данные - результаты



описание процессов на мультимодальном языке «числа+ LLM»



Получение результатов процессов вычислений в форме объяснения «смысла» проведенных расчетов

Базовые отношения между понятиями: **число-слово-смысл**

Для создания экзо-интеллектуальной платформы вычислений надо ясно понимать

чего не могут сделать современные технологии СК и алгоритмы машинного обучения, а именно:

- выполнять задачи за пределами отведенной им ранее зоны «обучающих примеров»
- с равной эффективностью использоваться для решения новых прикладных задач
- имитировать такие когнитивные способности, как
  - проводить причинно-следственные рассуждение,
  - вести разработку новых алгоритмов и
  - объяснять полученные решения.

## Перечень задач в рамках курса «экспериментальные исследования»

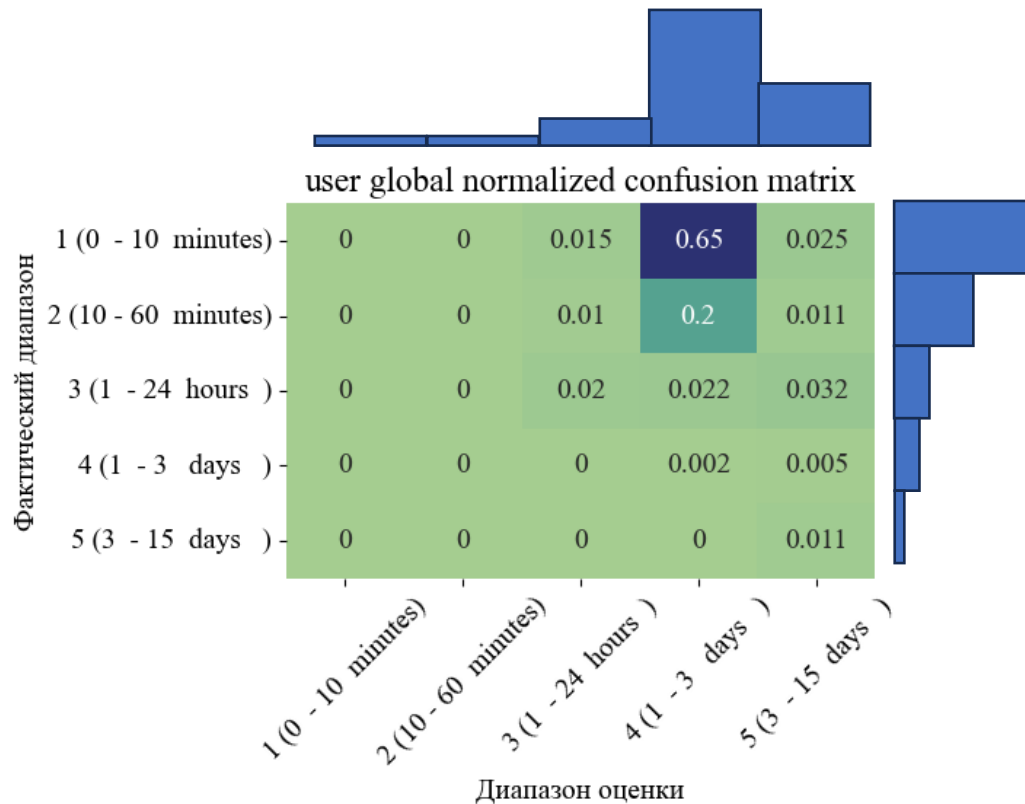
- Задачи «эффективного» распределения ресурсов с использованием моделей машинного обучения,
  - Сложность решения обусловлена большим количеством ограничений, накладываемых как на входные данные, так и на предсказания, т.е. на значения целевых функций многоцелевым характером производственных задач являются, что приводит к необходимости разработки многозадачных (multi-task) моделей ИИ с ограничениями, которых в настоящее время нет
- Задачи интерпретации предсказаний моделей ИИ или задачи объяснительного интеллекта.
  - В промышленных систем принятие решений по предсказаниям на основе моделей предиктивной аналитики, классификации, оптимального распределения ресурсов и т.п. требует объяснения, что явилось определяющим фактором принятия (регуляризации) того или иного предсказания. Современные модели интерпретации не охватывают все аспекты и особенности задач ИИ в промышленных системах.



## Итак,

- Требуется построение моделей прогнозирования времени исполнения заданий в среде суперкомпьютерных вычислений
  - путем комбинации (гибридизация) различных моделей, таких как случайные леса, градиентный бустинг, трансформеры и нейронные сети.....
- Ps Построение «малых» моделей трансформеров (роя трансформеров) с механизмами внимания – **важнейшая задачей, которая может быть востребована в СК системах, использующих технологии ИИ.**

## матрица ошибок пользователя при прогнозировании времени выполнения прикладной задачи.



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

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

$D$  – тестовая выборка

$|D|$  - размер тестовой выборки

$m$  – временной интервал модели прогноза

$f$  – временной интервал фактического времени исполнения задачи

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

$$I = 1 - S$$

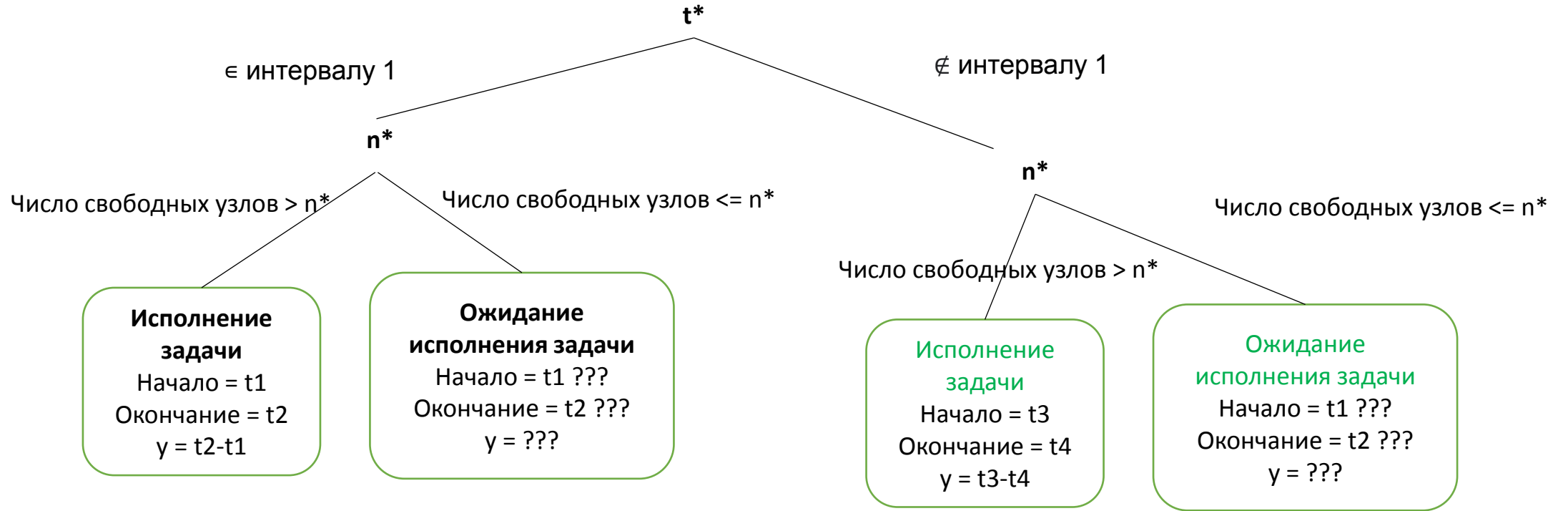
$A$  – матрица плотности распределения

$\lambda_i$  - собственные числа матрицы плотности распределения

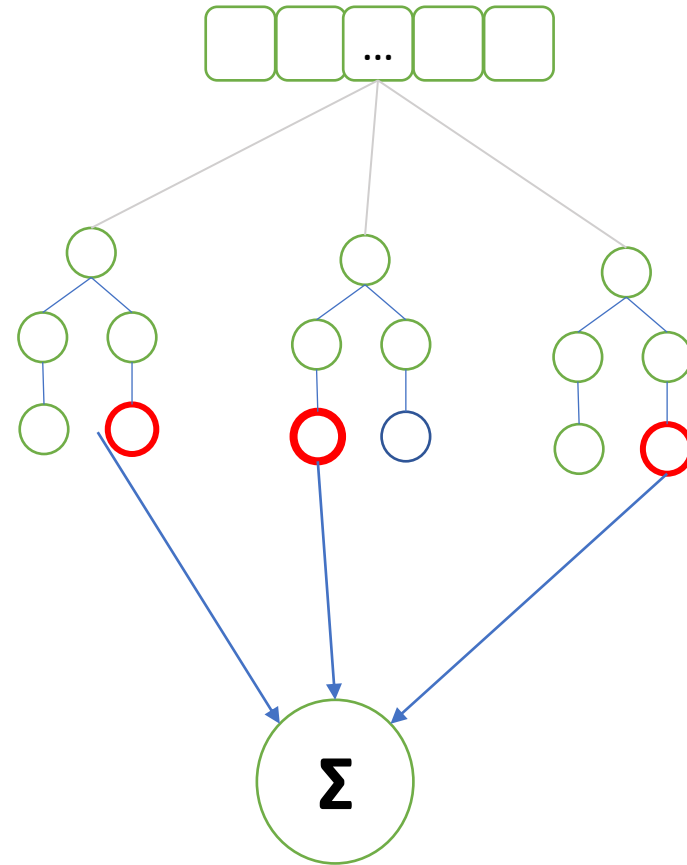
Энтропия фон Неймана – мера неопределенности состояния системы с конечным числом возможных состояний

# Построение моделей прогноза заменяющих пользователя.

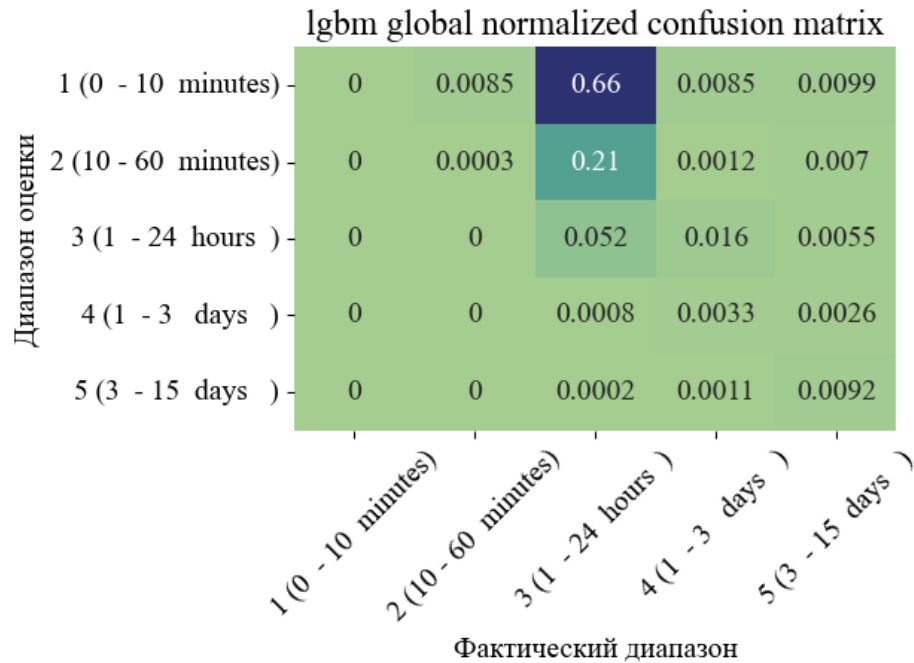
$t^*$   $n^*$



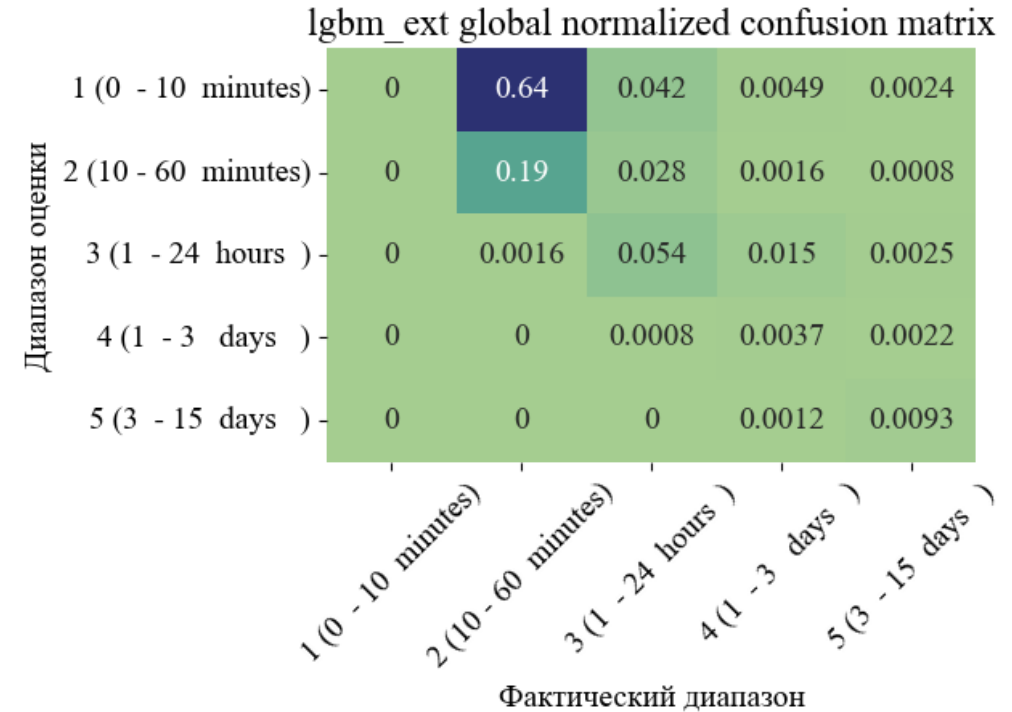
Построение многофакторной модели прогноза, которая заменяет «пользователя».



Формирование матриц плотностей распределения прогнозов обучаемой модели при оценке времени выполнения прикладной задачи.



Регрессия по информации о задаче



Регрессия по модели пользователя

Сравнение энтропийных оценок различных моделей прогноза (на глобальных матрицах)

Модель	r	r2	I = 1 - S	Eig values
Идеальная модель	1.00	1.00	0.86	[0.688 0.221 0.074 0.007 0.011]
Пользователь	0.46	-11.04	0.14	[0.000 0.000 0.020 0.002 0.011]
Модель среднего	0.00	0.00	0.19	[0.000 0.000 0.000 0.000 0.074]
Регрессия по информации о задаче	0.58	-0.12	0.22	[0.000 0.000 0.052 0.003 0.01]
Регрессия по модели пользователя	0.80	0.52	0.52	[0.000 0.191 0.054 0.003 0.01]