

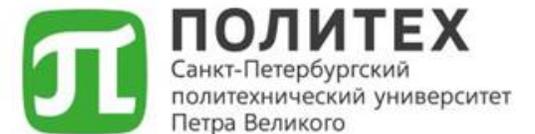


курсы:  
методы исследовательской работы

лекция : Технологии машинного обучения  
и «байт-код процессов мышления»

СКЦ «Политехнический»

6 февраля  
2024 г.



Не достигнув желаемого, они делали  
вид, что желали достигнутого.  
*М. Монтень*

Крупнейший математик Нового времени Пуанкаре делил все проблемы на два класса: бинарные и интересные.

Бинарная проблема— это проблема, допускающая ответ «да» или «нет».

А интересные проблемы— это те, в которых ответ «да» или «нет» недостаточен, в них нужно исследовать какой-либо вопрос, двигаясь вперед.

Например,

как можно изменить условия задачи (скажем, краевые условия для дифференциального уравнения), сохраняя существование и единственность решения, или как меняется число решений при других изменениях.

[1] Модели больших языков (LLM): полное руководство в 2023 г. URL:

<https://ru.shaip.com/blog/a-guide-large-language-model-llm/>

[2] Макаренко С. И., Соловьева О. С. Семантическая интероперабельность взаимодействия элементов в сетцентрических системах.

Журнал радиоэлектроники, ISSN 1684-1719, №6, 2021.

[4] Лейбниц Г.В. Об универсальной науке, или философском исчислении // Соч. в четырёх томах. М.: Мысль, 1984. Т. 3

[5] Маслаков А.С. Кондратьев С.Б. – Томас Гоббс и парадоксы мышления раннего нового времени // Философская мысль. – 2023. - № 3.

[6] Декарт Р. Правила для руководства ума. — Перевод с латинского М.А. Гарнцева. // Рене Декарт. Сочинения в 2 т. — Т. 1. — М., «Мысль», 1989

[7] Тарский А. Введение в логику и методологию дедуктивных наук. М.: Иностранная литература, 1948.

[9] Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? / Пер. с англ. – М.: РИМИС, 2009

[10] Хомский Н. Аспекты теории синтаксиса. Пер. с англ. под редакцией и с предисловием В.А. Звегинцева. Издательство Московского университета. 1972

[11] Гротендик Александр. Урожай и посеы. Размышления о прошлом математика. Перевод с французского Ю. Фридман. Под редакцией Г. Нуждина и В. Прасолова. УДК 51

[12] Вейль Герман. Симметрия: Пер. с англ. / Под ред. Б.А. Розенфельда. Вступит. ст. И.М. Яглома. Закл. ст. Б.В. Бирюкова. Изд. 3-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 192 с

[14] Болтянский В., Ефремович В. Наглядная топология. — М.: Наука, 1982. (Библиотечка «Квант», Вып. 21).

[17] Рубанов В. А. Вижу смысл. Метафизика смыслов. — Москва: ООО «Арго-Книга», 2022. — В 3 томах — ISBN 978-5-517-09043-0.

[19] Арнольд В.И. Сложность конечных последовательностей нулей и единиц и геометрия конечных функциональных пространств.

Публичная лекция 13 мая 2006 г. Математический институт им. В. А. Стеклова, Москва. URL: [https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/430178/430281](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430178/430281)

[20] Тарский А. Введение в логику и методологию дедуктивных наук. М.: Иностранная литература, 1948.

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

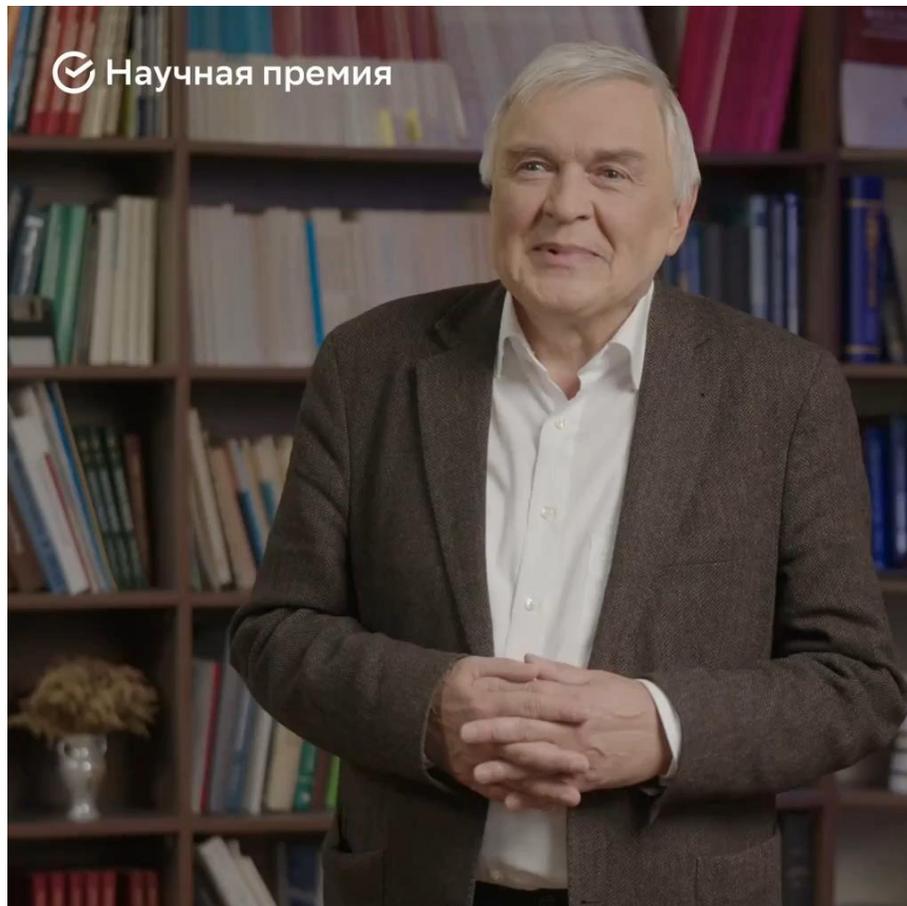


Задача развития науки состоит в целостности описания мироустройства путем построения «правильных» теорий (концепций).

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»

## Академик Евгений Тыртышников



Главная— это достижение «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**

## Экспериментальные исследования

- Предметом «чистой» математики как классического мета языка научного описания Природы выступают три рода сущностей : 1) число; 2) размерность ...пространства; 3) форма предмета. Эти три аспекта присутствуют в явлениях и объектах одновременно.
- Число описывает дискретные свойства структуры (предмет арифметики), а размерность – непрерывные (предмет алгебры).
- Предметом топологии – математической науки, объединяющей отдельные объекты с процессами их непрерывного преобразования или симметричной (инвариантной) трансформации в целостное (согласованное и соразмерное) и наглядное (интуитивно понимаемое) описание мира
- Симметрия – это идея, посредством которой производится согласование частей в едином целом (Г. Вейль).

## Историческая справка

- Идея метаязыка уходит своими корнями к **Р. Луллию** с его методом выведения истин из общих понятий и к

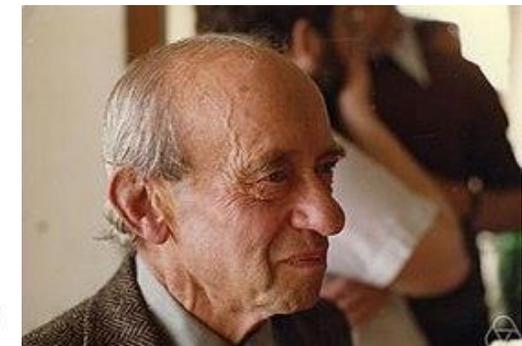


- **Г. Лейбницу** с идеей создания алфавита человеческой мысли и философского исчисления.



- Он допускал вычисления не только над числами, но и над словами и 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

- «Противостояние» энтропии возможных решений –целевая функция мышления.
- Разум выступает ментальным механизмом поддержания порядка в мышлении подобно механизму упорядочения биологических процессов хромосомными молекулами (Э. Шредингер).[
- Способность людей структурно излагать мысли на естественном языке – врождённая часть их генетической программы (Н. Хомский).[10]
- Необходимо упорядочение информации на естественном языке с помощью научного знания и фундаментальных концепций . С помощью такого знания можно лишь частично упорядочить разрозненные факты реальности и воспрепятствовать энтропии информационного пространства, для конструктивного решения нужны новые модели и методы.

# Эволюция : 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

программных автоматов,  
вычисляющих числа с помощью  
алгоритмов

Эра

механических автоматов,  
исполняющих один алгоритм,  
вычисления



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



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



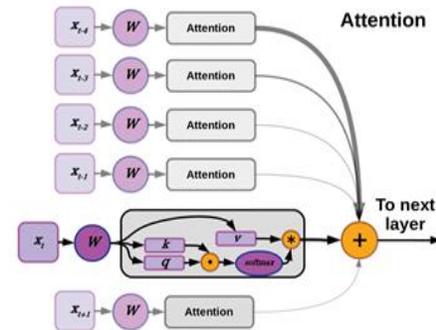
«Все есть **число**»

*Пифагор*  
*570-490 до н.э.*

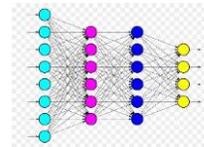
Эра «ПСИХОЗОЯ» Вернадского

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

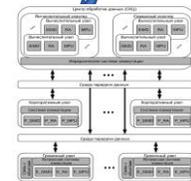
X-входные  
данные и  
описание  
заданий



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 решения задачи 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.

Поэтому в п 4.1 Программы надо рассмотреть ИИ как сферу фундаментальных исследований,

определив для этого:

- Объект исследований – **интеллект** как способность к
  - **Обучению** – обретения новых знаний/умений
  - **Обобщению** и объяснения результатов обработки данных
  - **Прогнозированию** последствий и реализации действий
- Предмет исследований – **технологии**, использующие «опыт» решения различных классов **«обратных задач» обработки данных**, таких как:
  - идентификация моделей, классификация объектов, детектирования аномалий, прогнозирования последствий на основе большого объема мультимодальных данных таблиц, фотографий или текстов на естественном языке

## Особенности, которые должны воплощать ИИ системы и модели для их использования

- Обучаются на своем опыте,
- Обобщать полученные результаты
- формировать новые решения и использовать имеющиеся
- генерировать обоснованные предсказания результатов функционирования

Учитывая все это можно точно определить перечень фундаментальных задач, решения которых могут эффективно использоваться в различных промышленных системах.

## Перечень научных задач (1,2), составляющих основу Программы

- Обработка измерительной мультимодальной информации для решения задач предиктивной аналитики
  - Вероятностный анализ и **предсказание времен до наступления** (или не наступления) определенных событий (разрушение оборудования, успешное или аварийное завершение технологического процесса, выполнение заданий) в условиях разнородных, цензурированных, неполных данных о состоянии анализируемого процесса.
  - Анализ и **обнаружение аномального поведения** наблюдаемых процессов и оборудования, особенно, когда аномалии являются скрытыми, т.е. когда отдельные параметры процесса не выходят за заданные границы, но определенные сочетания факторов при их динамическом изменении могут привести к аномалии (разрушению оборудования, дисбалансу организационных процессов и т.д.).
- Построение моделей ИИ для решения задач классификации, когда имеется разнородная или мультимодальная информация (изображения, текстовое описание, результаты измерений или показания датчиков).
  - Задачи **классификации** с точки зрения определения брака изделий, которые отличаются от задач обнаружения **аномального поведения** большим объемом обучающих примеров как класса не бракованных изделий, так и класса бракованных.
  - Задачи визуальной регистрации различных объектов и их динамики, например, регистрации и распознавания транспортных средств в заданный интервал времени.
  - Задачи совместного **индуктивного и дедуктивного обучения** моделей классификации, когда дедуктивное обучение формируется наборами правил от экспертов анализируемого технологического процесса.

## Перечень научных задач (3,4), составляющих основу Программы

- Задачи оптимального распределения ресурсов с использованием моделей машинного обучения, например, при помощи нейронных сетей.
  - 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 системах 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, применение ИИ в промышленных системах

- Требует использования нового (научно-технологического) инструментария, который обеспечивает эффективные решения сформулированных фундаментальных задач но ....эффективно – значит с большей точностью, высокой производительностью, устойчивостью (робастностью) к данным и помехам.
- Наиболее перспективным инструментарием является использование моделей-трансформеров с «**механизмом внимания**», который можно применять для различных промышленных задач.
  - Надо иметь в виду, существующие трансформеры, например большие языковые модели (LLM) , **строятся в предположении наличия большого количества обучающих примеров.**
  - В производственных системах, особенно на первых этапах использования моделей ИИ, найти такие объемы обучающих данных.
- Поэтому **приоритетной фундаментальной задачей Программы** является построение «малых» моделей трансформеров путем комбинации (гибридизация) таких моделей как случайные леса, градиентный бустинг и нейронные сети.
- **Итого.** Построение «малых» моделей трансформеров (роя) с механизмами внимания является **важнейшей фундаментальной задачей, которая может быть востребована в промышленных системах, использующих технологии ИИ.**

## Краткая формулировка основных научно-технических задач, решаемых в рамках деятельности Центра

### Разработка

- **алгоритмов, позволяющие автоматически**
  - **обучаться на основе накопленного опыта**, обрабатывая информацию, извлеченную из изображений, видео и других мультимодальных источников данных, без **явного программирования, но с использованием механизма внимания.**
- **способов взаимодействия** компьютерных языков программирования и натуральных языков описания прикладных задач на базе трансформеров с целью:
  - автоматизации процессов **интерпретации** входных данных, обрабатываемых событий, воспринимаемых фактов и результатов вычислений путем генерации предложений на естественном языке, используя для этого различные методы включая распознавание изображений, классификацию объектов и распознавание образов.

## В п 4.1 надо ясно описать «Пространство возможностей» в контексте применения их в промышленности

### а именно

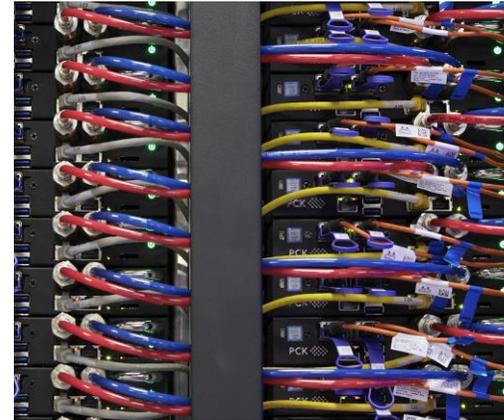
- .....различны глубокие, сиамские, сверточные и пр. ИНС **могут применяться для прогноза...**
- **Ядерная регрессия** (метрическая функция расстояния и ядра регрессии Надарая-Уотсона) **для** оценки параметров....
- **Деревья решений** (непараметрический, легко обучаемый и «интерпретируемый» метод классификации применяется **для случая, когда максимальное значение признака для одного класса явно меньше минимального значения**
- «Мягкие деревья» (задачи регрессии и классификации) **для работы с табличными данными**
- **Ансамбли («леса») деревьев** принятия решений (Decision trees) **для повышения точности классификации** по сравнению с использованием одного деревом решений.
- **Attention-сети/леса ... с механизмом внимания** **для предиктивной аналитики** сложных структур данных

# На каком «промышленном объекте» предлагается решать сформулированные «фундаментальные задачи» Программы ?

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

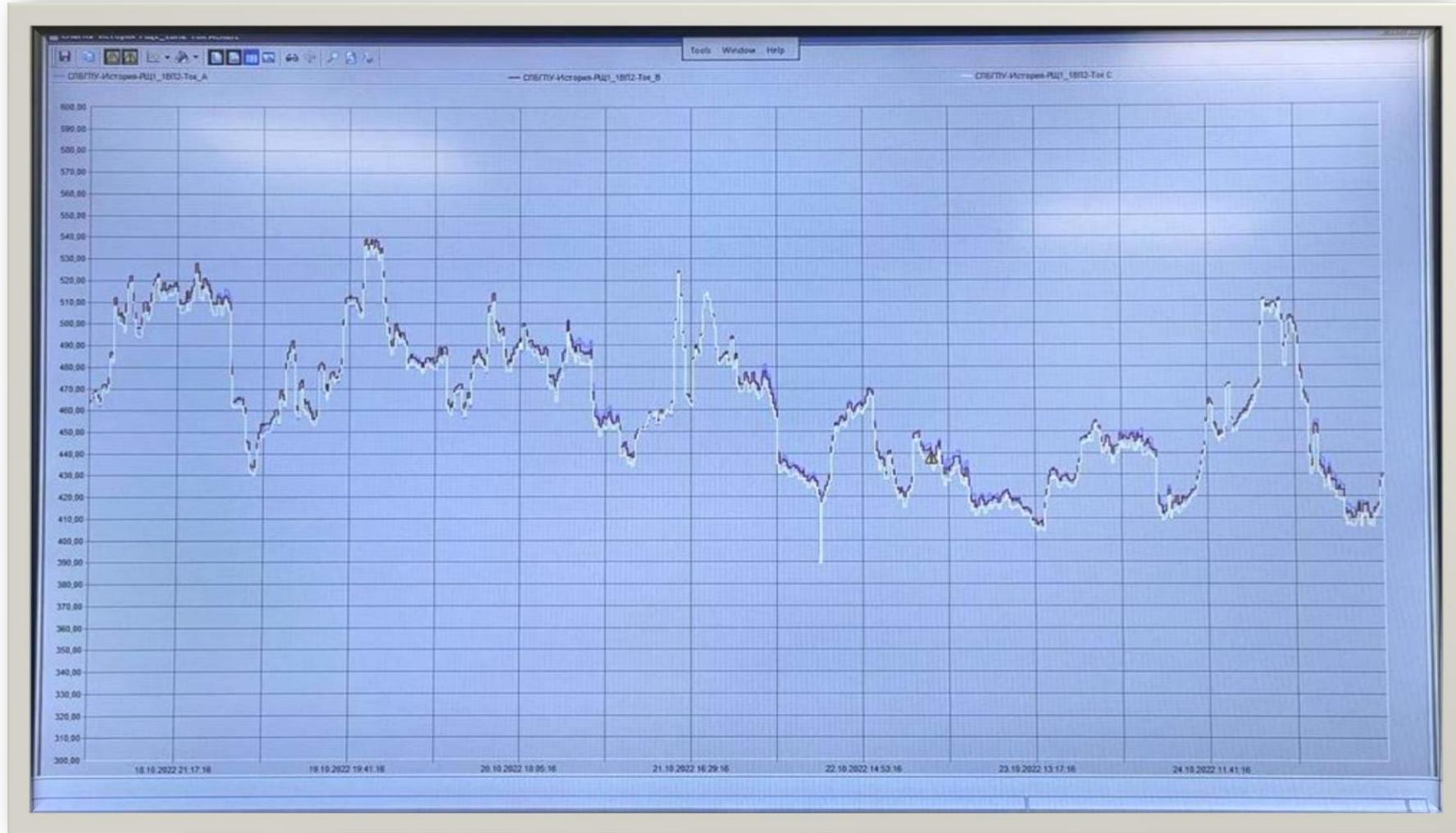


Действующий макет типовой производственной информационно-технологической системы - СКЦ «Политехнический»



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

# Производственные характеристики СКЦ как объект потребления эл. энергии

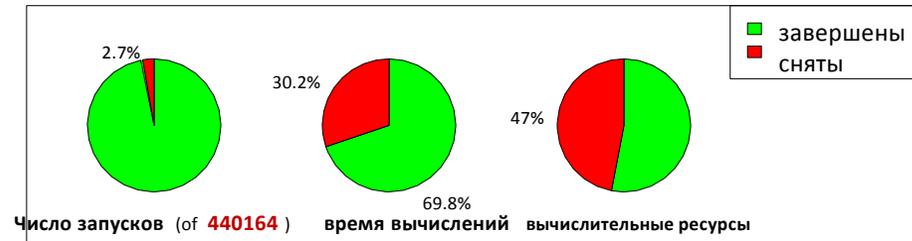


# Производственные характеристики СКЦ как центра коллективного пользования

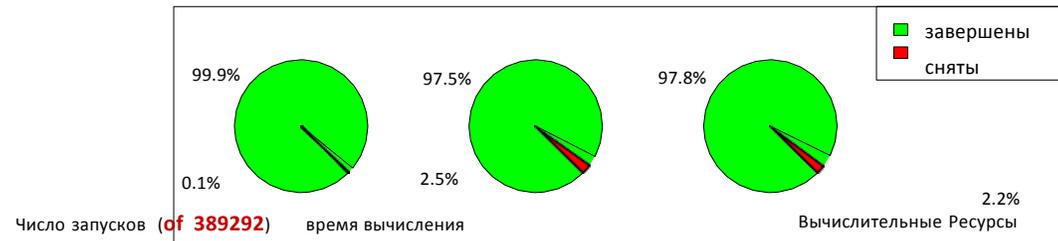


# Производственные характеристики СКЦ как объекта для автоматизации и «машинного обучения»

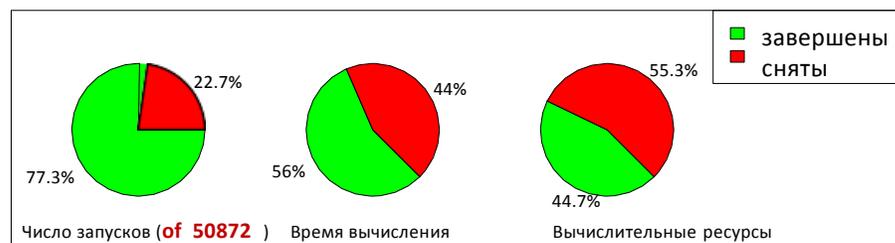
Общая характеристика эффективности для всех видов запусков заданий



Автоматический запуск «известных» заданий ГПН



Запуск «персональных заданий» в ручном режиме

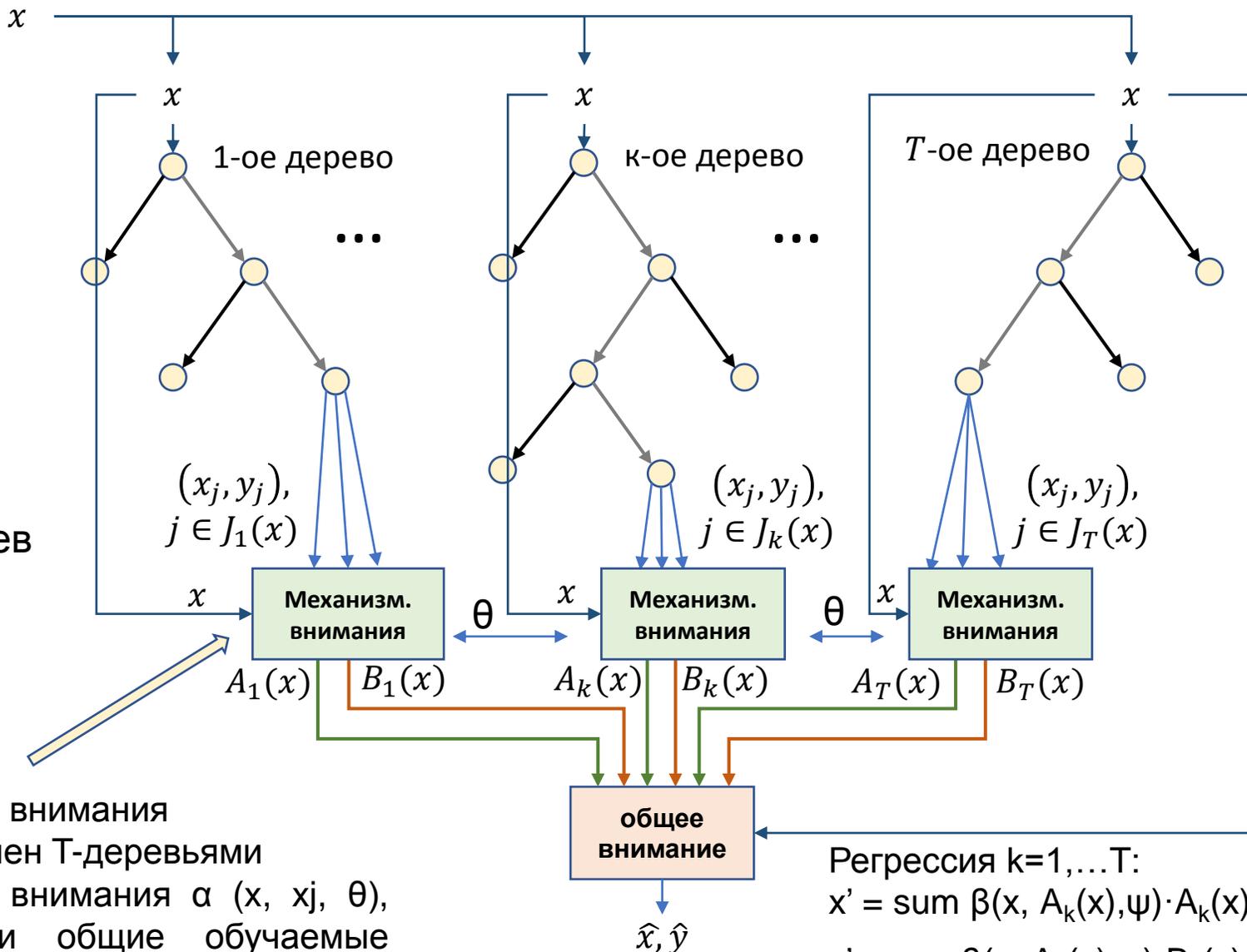


## Возможности машинного «обучения» СК:

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

# Методы решения фундаментальных задач Программы: 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  $\theta$

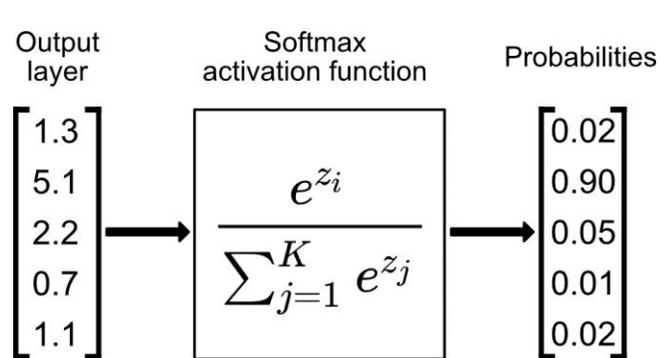
Регрессия  $k=1, \dots, T$ :

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

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

# 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 эффективно 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 фундаментальных задач Программы: использование моделей трансформаторов совместно со «случайным лесом»

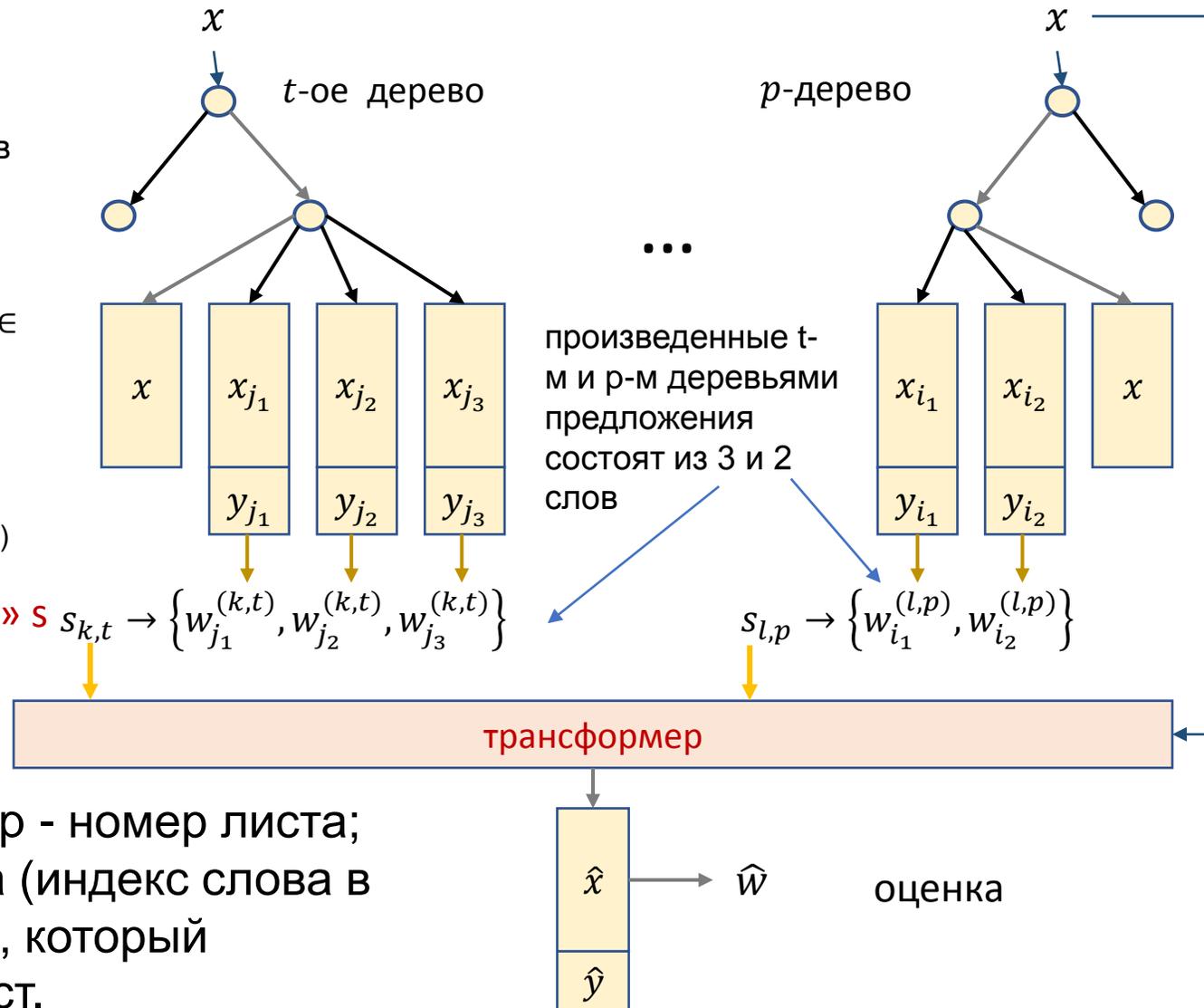
**набор примеров**  $(x_j, y_j)$ , где  $j \in J_k(x)$ , которые попадают совместно с вектором признаков  $x$  в один и тот же  $p$ -й лист  $k$ -го дерева, **представим в виде предложения  $s$** , состоящего из слов, обозначаемых как  $w_i^{(k,p)} \in J_k(x)$ ,

$i \in J_k(x)$ ,

$s_{k,p} = \{nw_{i_1}^{(k,p)}, \dots, w_{i_p}^{(k,p)}\}_{1ir}$

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

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



## Приложение 1 Анализ предложенного проекта программы деятельности Центра

написано в п.4.1:

- В рамках деятельности Центра будут решаться **конкретные задачи** в области разработки **платформы, методов и моделей** искусственного интеллекта.
- Центре планируются к **разработке, исследованию и доведению** до уровня **готовности к внедрению**
  - **методы, алгоритмы и методики**
    - формирования

## методы, алгоритмы и методики формирования , **Чего**

- информационно-телекоммуникационной **среды** для создания **интеллектуальной дата-аналитической системы планирования** и управления на средне-, крупносерийных и массовых производствах
- распределенной **многокомпонентой вычислительной среды**
- сетевой **инфраструктуры** для разворачивания **распределенной интеллектуальной системы** в условиях, действующего и/или находящегося **в стадии дата-аналитической реорганизации предприятия**.
- целостности и доступности информационно-телекоммуникационной **среды** в рамках интеллектуальной производственной системы
- производственной **информации** для ее использования в распределенной интеллектуальной системе планирования и управления производствами
- возможности слияния **ретроспективных данных**, накопленных на предприятиях, текущей информации о выполнении планов, прогнозных данных по результатам моделирования и режимов управления в реальном времени
- технического обеспечения коммуникационных и **функциональных возможностей** средств автоматизации, мониторинга и метрологического обеспечения технологических процессов
- мониторинга функционирования **компонентов** интеллектуальной производственной системы планирования и управления с учетом технологических особенностей и критичности процессов