



Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

КАФЕДРА
ТЕЛЕМАТИКА

Управление научными проектами (методы исследовательской работы)

«Исследования как результат интеллектуальной деятельности» (занятие 2)

12 сентября
2023 г.

Что было на прошлой лекции

- наши занятия (имплицитные, эксплицитные) формирует феномен, получивший название «интеллект». Что нам известно про этот феномен:
- Уже состоявшееся прошлое «записано» в нейросетях мозга человека, которые формируют как восприятие новых событий, так и их интерпретацию и отображения конкретные реакции.
- Все действия человека суть реакции на события. Эти реакции не случайны (спонтанны), а большинство из них «вычислены» в нейронных связях мозга. При этом каждый воспринимаемый (мыслимый) объект формирует «входной поток данных», который активирует часть нейронной сети мозга, что вызывает каскад **химических реакций, носителями которых являются нейромедиаторы....** биологически активные химические вещества.
- Эти химические реакции порождают действия, чувства и вызывают определенные эмоциональные реакции, которые не более, чем **результат определенных химических процессов**, стимулируемых с реакцией как на поток входных данных, так и учитывающих полученный в прошлом опыт.

Итого: в 99% случаев мы воспринимаем реальность не такой, какая она есть, а интерпретируем ее на основе **готовых образов из прошлого**, представленных химическими **паттернами** .

Напоминаем, что из это следует

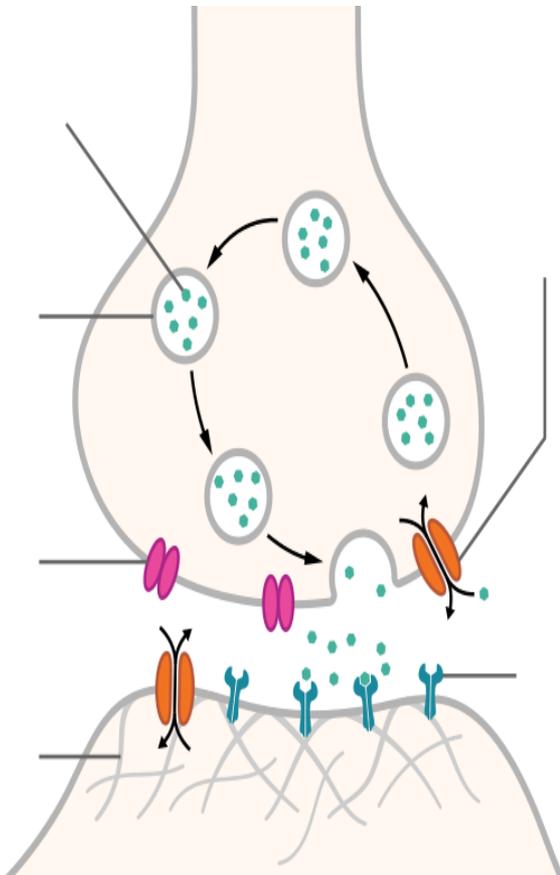
Гипотеза : информационное содержание - основа способности человека к мышлению, познанию, обучению, восприятию, запоминанию, обобщению и принятию решений - реализуется в природе как результат вычислений в среде «нейроструктур мозга».

Следствия :

Сознание - «вычисляемая» функция «встраиваемого ПО» нейрокомпьютера мозга человека, в котором носителем информации выступают химические молекулы

Вывод: отсутствие принципиальных различий в реализации интеллектуальных процессов и вычислениях, протекающих под управлением компьютерных программ

«Химия» интеллектуальной деятельности



В головном мозге человека имеется около 30 нейромедиаторов-нейротрансмиттеров :

- Глицин,
- Глутаминовая кислота, Адреналин,
- Норадреналин
- Дофамин
- Серотонин
- Гистамин
- Ацетилхолин
- Глутамат
- Триптамин Эндоканнабиноиды
- N-ацетиласпартилглутамат

Работа головного мозга осуществляется путем передачи информации между нейронами и рецепторными клетками, посредством электрохимических импульсов. В синапсе – месте контакта двух нейронов или нейрона и сигнальной эффекторной клеткой – происходит обмен нейротрансмиттерами, которые активируют или тормозят действия других клеток.

Что известно:

Если **информация** включается в общее **описание системы**, то оказывается, что

- Одна и та же система **имеет различные физические свойства** в зависимости от имеющейся информации (в одном случае она способна совершить работу, в другом – нет)
- Мера **информации** оказывается согласованной физическими **понятиями энергии и энтропии**, а «любая **неслучайная** комбинация битов» может быть использована для **производства работы**.
- Информация как атрибут наравне с физическими параметрами объекта (размер, вес...) должна учитываться в моделях взаимодействия объекта с внешней средой.
- В зависимости от имеющейся информации о системе систему можно или нельзя использовать для совершения работы.

Вопрос: какую «полезную работу» совершает вычислительная система и почему при ее функционировании выделяется тепло ? ? ?

В окружающем человека мире есть вещи/объекты/предметы, которым можно сопоставить **МЫСЛИМЫЕ ПОНЯТИЯ**.

Предметы, о которых люди ничего не **МЫСЛЯТ** или не знают находятся **за границей возможностей их** целенаправленного использования.

При этом вещи по другую сторону **границы мыслимого** по определению являются **НЕМЫСЛИМЫМИ**.

Упорядочить представления о мыслимой и немыслимой частях реальности можно путем введения понятия информация, считая ее атрибутом **лишь той части реальности**, которая для людей является **МЫСЛИМОЙ**.

Предмет исследований:

вычисление, описание, объяснение – в чем разница ?

7

исходные тезисы:

- 1) Вычисление рассматривается как физический процесс, протекающий в компьютере или мозгу человека под управление **алгоритма**.
- 2) Инициированный алгоритмом физический процесс изменяет равновесное термодинамическое состояние (энтропию) вычислительной системы (ее частей). Потребляемая компьютером энергия тратится на то, чтобы перевести неравновесное состояние вычислительной системы (процессор-память) в одно из возможных равновесных состояний, в котором алгоритм завершает работу и выполняет команду «стоп».
- 3) Алгоритм – это **описание** вычислительного процесса в терминах языка программирования и правил выбранного исчисления:
 - 1) Императивного
 - 2) Декларативного
 - 3) Функциональногоно описание не тождественно объяснению.
- 4) **Объяснение** — это наделение наблюдаемого физического процесса и полученного с его помощью результата **смысловым содержанием** → **семантической информацией**, что позволяет интерпретировать этот результат с помощью расширенной (алгоритм + внешняя среда) модели. (Объяснение – это удел не математики, а «более содержательных» наук, в которых используемые понятия имеют имплицитный характер то есть явный материальный носитель).
- 5) В рамках существующей парадигмы научных знаний мы можем весьма точно количественно описать (рассчитать) некоторое физическое явление, например траекторию движения брошенного камня в гравитационном поле Земли, **но мы не можем** рассчитать траекторию движения живого кота с дивана к миске с едой. **Вопрос**, в чем принципиальная **разница** между этими возможностями ?

Мыслимое о материальном –

«символьный код мы физический процесс»

Понятие **«материальное»** можно определить через **«обратное»** как все, что отличается от психического и духовного, т.е. информационного. Такое определение не конструктивно, но пока мы не можем точно определить, что является информационной сущностью объекта реальности.



восприятие **музыки**



Интеллектуальный субъект, «понимающий» **код**

Инструмент «расшифровки» **кода**

Код физического процесса

Инструмент записи **кода**



физический **«процесс»**

Атрибутивный характер **понятия «музыка»** очевиден. Музыка – это атрибут, который присущ определенным наборам звуков. Ни каждый набор частот колебаний струн можно связать с **понятием музыка**, а только если свойства набора колебаний струн инструмента, отвечают пропорции, порождаемой гармоническим рядом. Каждому музыкальному произведению сопоставляется некий **дискриптор** – название и автор

Проблема субъективности информации - парадокс де Финетти или relationship between independence and exchangeability

9

С точки зрения статистического описания системы ее состояния (вероятностных мер) могут образовывать статистически **независимые** во времени, но не **заменяемые** (перестанавливаемые местами) последовательности состояний. У таких последовательной м.б. одинаковые распределения, но **разные информационные сущности** (результаты восприятия): Определение: задана бесконечная последовательность

$$X_1, X_2, X_3, \dots$$

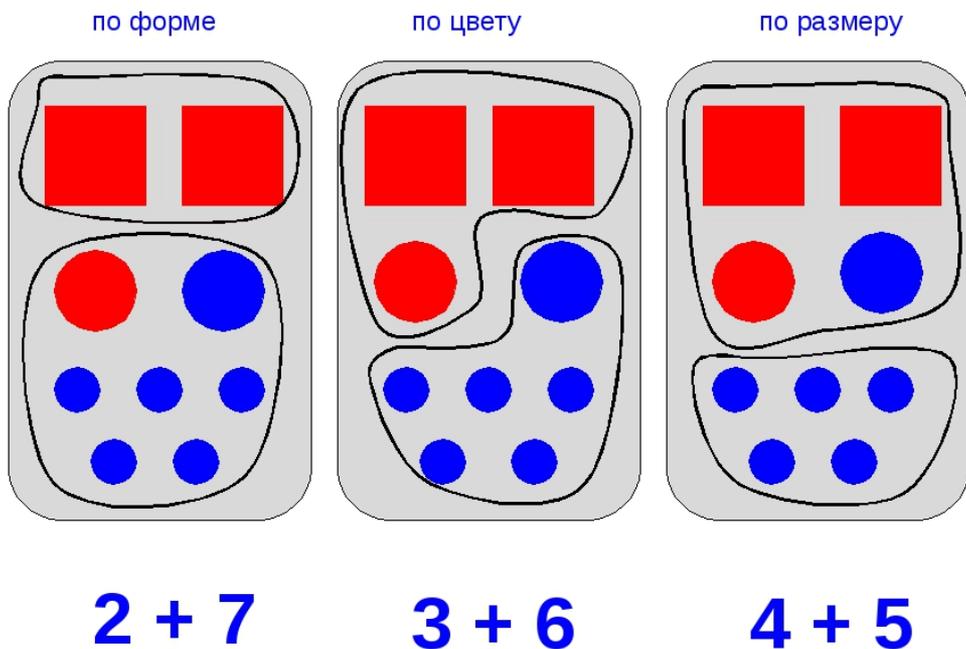
переменные можно переставить (**to be exchangeable**) если для любой

$$X_{i_1}, \dots, X_{i_n} \text{ and } X_{j_1}, \dots, X_{j_n}$$

комбинации переменных выборки имеют одинаковую совместную функцию распределения (probability distribution)

Однако обратное неверно — существуют заменяемые случайные величины, которые не являются статистически независимыми, например, модель урны Пойа.

Модель урны Дж. Поли – взаимное влияние последовательности измерений



В модели урны Поли наблюдаемое значение с большей вероятностью будет наблюдаться снова, а акт измерения влияет на результаты будущих измерений

Создание новых абстракций

Функции в компьютерных программах похожи на кубики Лего. Когда мы строим программу, она состоит из отдельных «кубиков», причём каждый из них решает свою задачу. Часть «кубиков» это встроенные функции, готовые библиотеки и код, написанный ранее. Для создания новых «кубиков» обычно используем уже существующие.

Вопрос: как можно использовать понятие «информации» в рамках **компьютерных наук**

Другими словами, как нужно рассуждать об информации, чтобы эти рассуждения имели **смысл с точки зрения компьютерных наук, т.е. в рассуждениях использовались такие понятия как**

1. число,
2. операция,
3. алгоритм ,
4. вычислимая функция
5. процессы вычислений....
6. **объяснение результатов вычислений**



Что мы хотим от «Машинного обучения»

В компьютерных науках

- **Возможности** повышения «реальной производительности» гибридных СК кластеров:
 - интеллектуальное диспетчерское управление
- **Оценка** параметров, используемых диспетчером slurm, на основе машинного обучения модели «выживаемости» прикладных задач
- **Производительности** моделирования



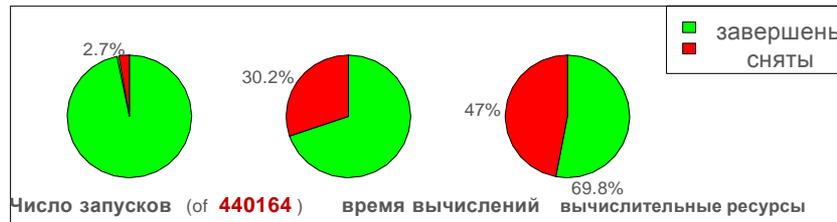
«МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ» СК

- **Имеем:** в настоящее время «машинное обучение» – стало синонимом «больших данных». Без гигантских объемов заранее размеченных данных алгоритмы машинного обучения не способны извлечь абстрактные знания, которые затем можно перенести на новые ситуации
- **Вопрос:** как получить максимум информации из минимума данных, то есть выявить суть явления или процесса из наблюдений ?
- **Ответ:** нужно **встроить в СК искусственный механизм внимания**, чтобы ... эффективно
 - фильтровать поступающую информацию,
 - выявлять релевантные связи,
 - строить гипотезы и обобщать полученные данные,чтобы развивать возможности **оценивать вероятности** соответствия выбранных моделей и гипотез результатам наблюдений, извлекая из «сырых» данных **объяснительные абстракции (функция выживания)**, которые можно переносить на другие ситуации
- **Как это сделать.** Для большинства алгоритмов машинного обучения настраиваемые параметры – это веса нейронов или ветвей «случайных деревьев»..., поэтому задача «обучения» состоит в поиске такого сочетания всех **параметров модели процесса** , которые вместе определяют **модель «наилучшего из возможных решений»**.



ВОЗМОЖНОСТИ «УМНЫХ» ВЫЧИСЛЕНИЙ

Общая характеристика эффективности для всех видов запусков заданий



Класс эквивалентности 1: запуск заданий на СК в «ИИ режиме»



Класс эквивалентности 2: запуск неизвестных задания «в ручном» режиме



Вывод:

Если параметры заданий пользователей, хорошо (точно) известны, то **настройки процессов вычислений можно автоматизировать** и более эффективно использовать имеющиеся компьютерные ресурсы

Как повысить реальную производительность суперкомпьютера ?

Есть два основных направления:

1) Разрабатывать новые компьютерные архитектуры, ППО и электронную компонентную базу

2) Построить модель задачи, которая на основе :

- используется для проведения **прямого вычисления** правильного ответа на основе заданных начальных данных и «формулы» описания процесса, реализуемого на имеющейся аппаратно-программной базе СК
- «опыта» научиться передсказывает правильный ответ для решаемой задачи с вероятностью $0.9X$
- использования методов «машинного обучения» объяснит как надо распределить имеющиеся ресурсы кластера между всеми прикладными задачами, чтобы с вероятностью $0.9X$ они завершилась успешно, объяснив при этом, почему выбран именно такой вариант действий

Цель обучения – повышение реальной производительности

Реальную производительность работы гибридного СКЦ, работающего в режиме центра коллективного пользования (ЦКП, можно повысить на основе такого планирования процесса распределения ресурсов гибридного кластера, которое обеспечивает успешное завершение задачи пользователя за интервал времени, выделенный для нее диспетчером slurm

Реальная производительность работы СКЦ оценивается через:

- Вероятность **успешного** (или не успешного) выполнения прикладной задачи за выделенное slurm время выполнения,
- Количество успешно выполненных задач пользователей за заданный интервал времени

Для этого требуются оценки параметров прикладных заданий и самого СК, которые используются для системой планирования slurm и влияют на реальную производительность работы СКЦ, **однако могут быть неизвестны пользователю на момент запуска задачи.**

Для **системы машинного обучения СКЦ** используется цензурированная выборка данных, включая

- $x_i \in \mathcal{X}$ – входной вектор параметров задания, задаваемых непосредственно самим пользователем
- $t_i \in [0, +\infty)$ – время до события (завершения задачи)
- $\delta_i \in \{0, 1\}$ – индикатор цензурирования (1, если задача завершена до истечения времени, 0 иначе)
- $y_i \in \mathcal{Y}$ – вектор параметров задачи, не известный на момент запуска (например, факторы изменения состояния системы slurm), в который могут входить индикаторы ошибки выполнения задачи (0 – успешное завершение, 1 – завершение с ошибкой)



Формулировка задачи обучения диспетчера СК:

Построить модель оценки параметров прикладного задания (оценку ожидаемого времени решения) с использованием **механизмов внимания** в условиях цензурирования данных, а именно:

- Ожидаемое время решения $E[T|X = x]$
- Функции выживаемости прикладной задачи в среде СК, а именно $S(t, X)$
- вектора параметров \hat{y} выполнения задачи, компонентами которого являются вероятность успешного выполнения задания $P(X=x)$

С целью использования этих параметров в системе планирования ресурсов СКЦ, построенной на базе **диспетчера slurm**

Инструментарий КН: Императивное / Декларативное / Функциональное программирование

- **Императивное программирование** (от англ. imperative — приказ, языки C, Fortran, Java) — это парадигма, которая описывает процесс вычисления в виде набора инструкций, изменяющих состояние данных так, чтобы решать задачу (подвиды и.п..... процедурное и объектно-ориентированное программирование) **от машины к человеку** (>>> 3-4, >>>3*4)
- **Декларативное программирование** (языки SQL, Prolog)— это парадигма, в которой задается спецификация (описание) цели (что хотим получить в результате) задачи, которые не содержат переменных и операторов присваивания... **от человека к машине** (CREATE TABLE if NOT EXIST staff...)
- **Функциональное программирование** — программирование которое использует результаты вычисления функций, аргументы которых есть данные или другие функции (**от функции к функции**... что-то получает на вход и всегда что-то возвращает ... `const f = (x) => x * Math.sin(1 / x)`.
 - знак = в функциональных языках называется “связывание“, что есть специальная форма записи функций, ликвидирующая неоднозначности типа функция/значение функции...

Что нам надо ...

Восприятие реальности – более «гибкое» :

Понимание событий и процессов – более «точное» :

**Компьютерное моделирование – более эффективное
:**

Фундаментальная проблема – описание «закрытых» и «открытых» физических систем

- Современная физика основана на моделях, которые не учитывают процессы информационного взаимодействия, поэтому ... принципы моделирования физических и информационных процессов существенно отличаются....
 - Одна и та же реальная система может «демонстрировать» различные физические свойства в зависимости от режимов работы и той информации о ее свойствах (при каких условиях система способна совершить работу, а при каких нет ?) которая доступна «внешним системам».

Почему так ?

- Имеющаяся информация о свойствах системы меняет то, как на систему влияет внешняя среда.
- Используемая мера информации должна быть согласована с общезначимыми понятиями, такими как: энергия и энтропия
- Информация о системе, доступная наблюдателю, может влиять на взаимодействие системы с другими системами:
 - в зависимости от имеющейся информации о системе ее, например, либо можно либо нельзя использовать для «совершения работы».

Задания 2,3: как построить вычислимую функцию генерации новых знаний (алгоритмов)?

● Тема №2:

- Какие проблемы теории алгоритмов (computer science) могут решаться в рамках концепции деонтической логики?
 - источники
 - 1) Discursive Input/Output Logic: Deontic Modals, and Computation, глава 1
 - 2) DE FINETTI'S THEOREM IN CATEGORICAL PROBABILITY by TOBIAS FRITZ, TOMÁS GONDA, AND PAOLO PERRONE

● Тема №3:

- Можно ли построить процессоры-ускорители для решения задач искусственного интеллекта (AI, artificial intelligence) и высокопроизводительных вычислений (HEC, high end computing).
 - источники:
 - 1) Eyerman S., Heirman W. Programmable Unified Memory Architecture (PUMA). Graph Processing With PUMA // Видео доклада, 20 мин,
 - <https://www.youtube.com/watch?v=BUYw5X5n9NY>
 - 2) Ahn J.H., Binkert N., Davis AI, McLaren M., Schreiber R.S. HyperX: Topology, Routing, and Packaging of Efficient Large-Scale Networks // SC'09, November 14-20, 2009, 11 pp. // <https://my.eng.utah.edu/~cs6810/HyperX-SC09.pdf>

МОЖНО ЛИ «ПО-УМНОМУ» УПРАВЛЯТЬ ПРОЦЕССОМ ВЫЧИСЛЕНИЙ ?

Статья:

RLScheduler: An Automated HPC Batch Job Scheduler Using Reinforcement Learning

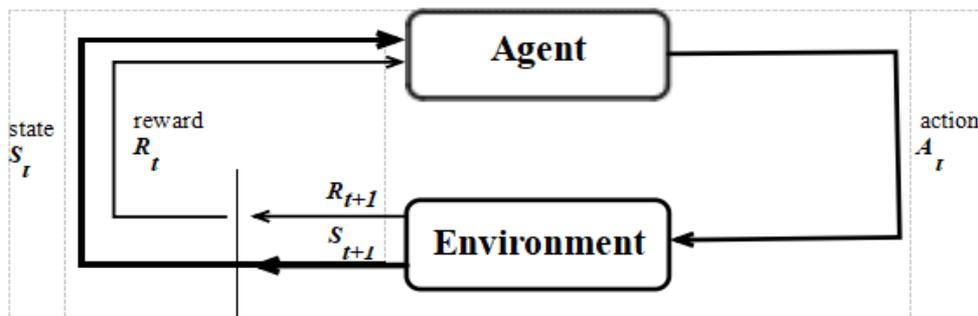
- *Di Zhang¹, Dong Dai¹, Youbiao He², Forrest Sheng Bao², and Bing Xie³*

Какие знания нам нужны, чтобы понять:

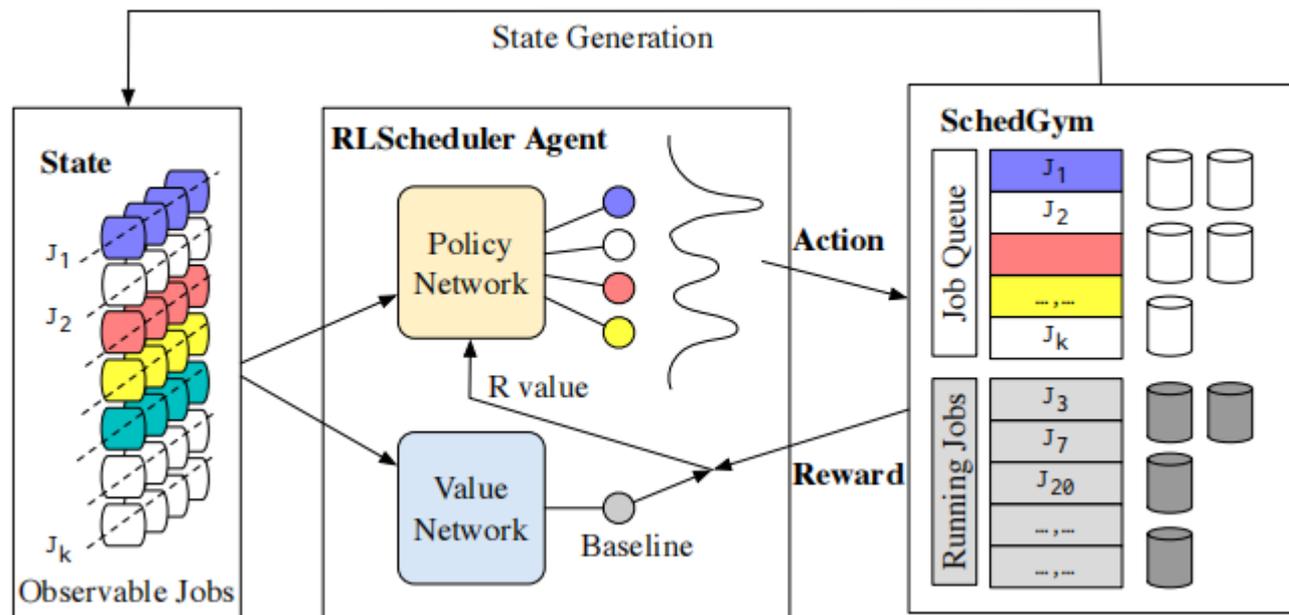
Что такое RL-Планировщик:

Автоматизированный планировщик пакетных заданий высокопроизводительных вычислений, использующий обучение с подкреплением

Как использовать методы RL - Обучение с подкреплением (RL) – чтобы «агенты», управляющие очередями заданий в супер компьютере самостоятельно учились планировать свою работу методом проб и ошибок .



Общая архитектура RLScheduler



Состояния

Выполняемых заданий

Вычислителя

Что будет предметом проводимых исследований

- В чем отличие «физики», программирования и машинного обучения
- Как построить пространство поиска, чтобы не только легко найти, но и объяснить
- Принципы информационного поиска : «CACE principle» - **Changing Anything Changes Everything** или **Любое изменение меняет все**»
- В чем вычислительная сложность поиска оптимальных решений
 - «точность – неопределенность»
 - «интерпретируемость – сложность »
- Технология XAI – объяснительная валидация вычисленных решений