



Московский государственный  
технический университет  
имени Н.Э. Баумана



Кафедра ИУ5  
«Системы обработки информации  
и управления»

Научно-образовательная Инженерная Практика

# Введение в обучение с учителем

Канев Антон Игоревич  
преподаватель кафедры ИУ5

[aikanev@bmstu.ru](mailto:aikanev@bmstu.ru)

# Канев Антон Игоревич



Окончил с отличием МГТУ  
им. Н.Э. Баумана в 2016 г.

Аспирантуру МГТУ им. Н.Э.  
Баумана в 2020 г.

С отличием окончил  
университет Glyndwr  
(Рексем, Великобритания)



Курс по глубокому  
обучению

Курс по web разработке



NVIDIA DLI Certificate

# Кафедра ИУ5



[iu5.bmstu.ru](http://iu5.bmstu.ru)

VK

[Telegram](#)

[YouTube](#)



Одна из крупнейших кафедр университета

Около 150 бакалавров и 60 магистров в год



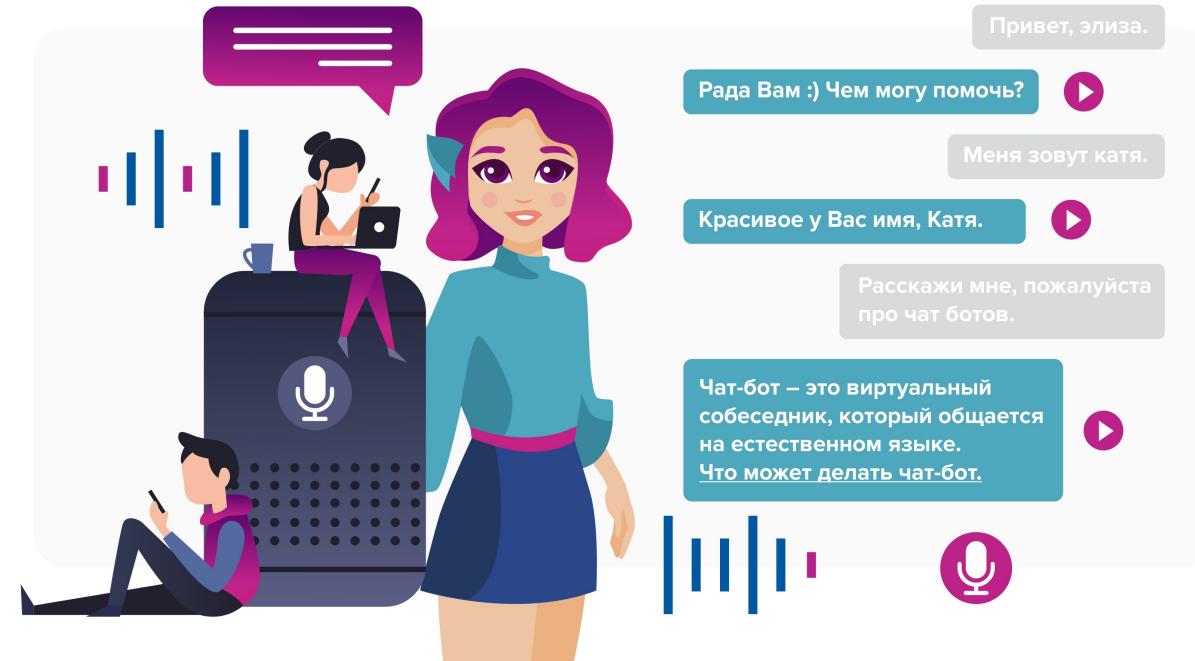
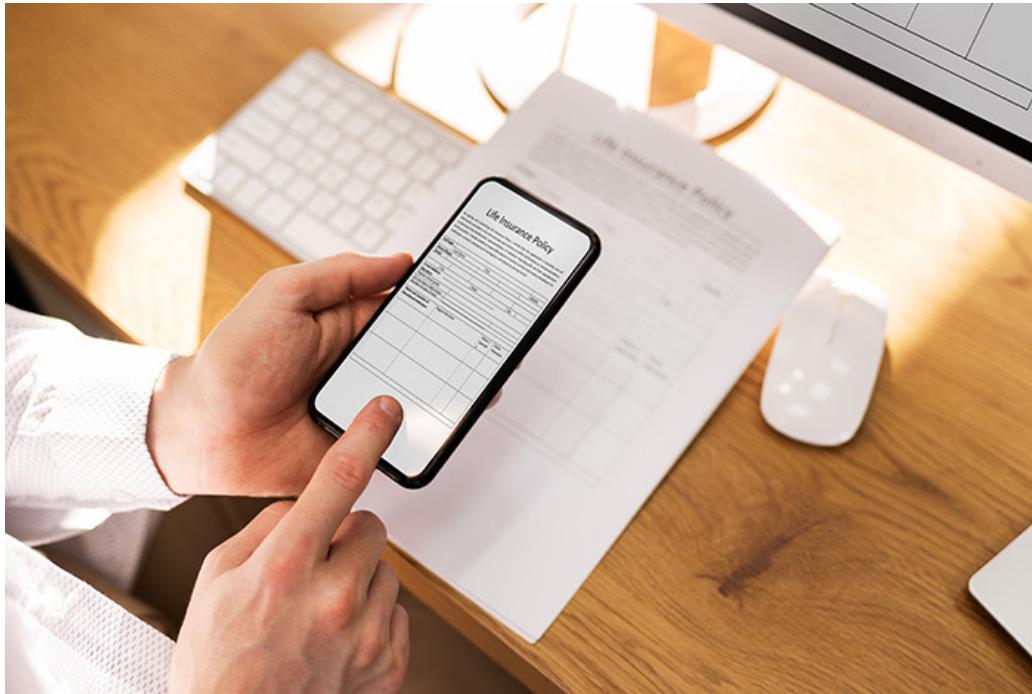
Бизнес и системные аналитики

Аналитики данных и data science

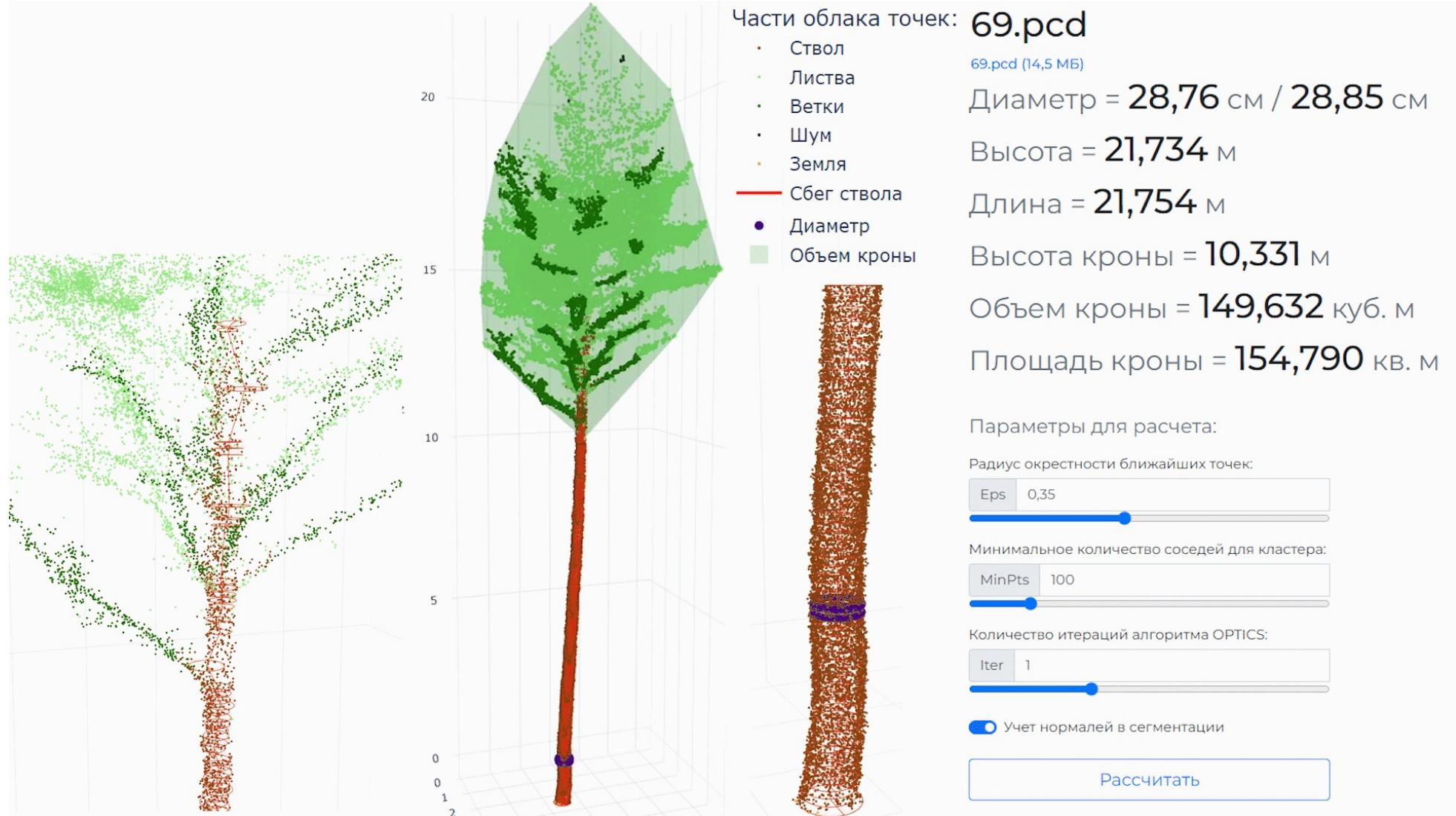
Web разработка  
DevOps/SRE

# Обработка речи и текста

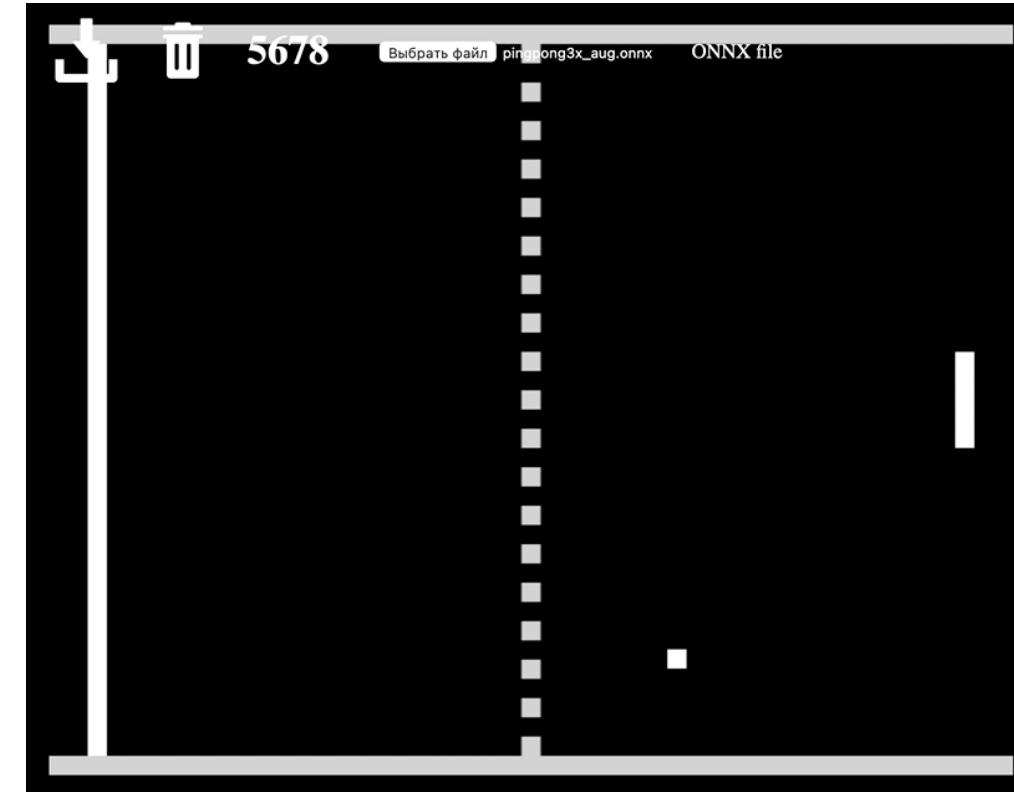
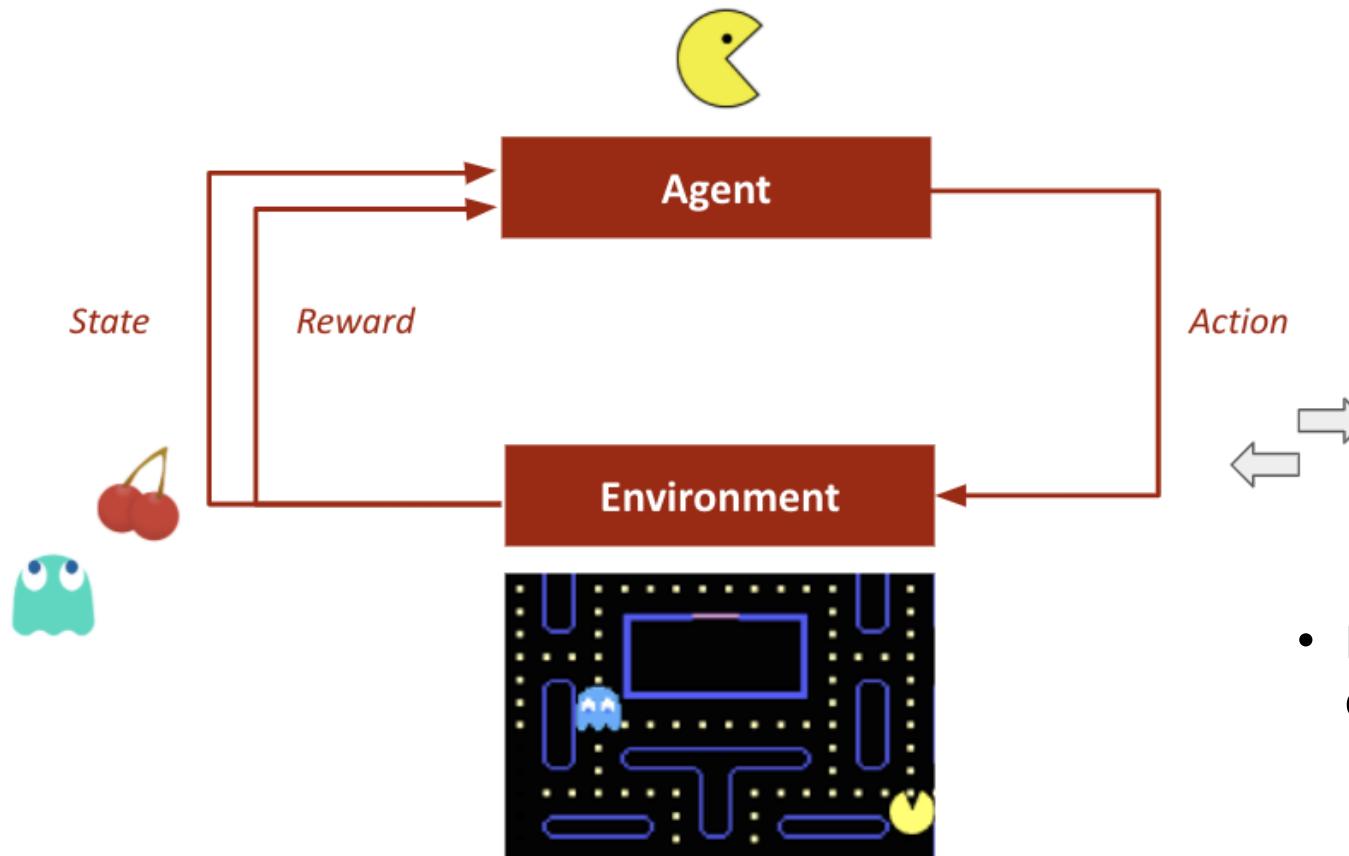
- Автоматическое распознавание речи
- Распознавание сканов - OCR



# Lidar



# Компьютерные игры



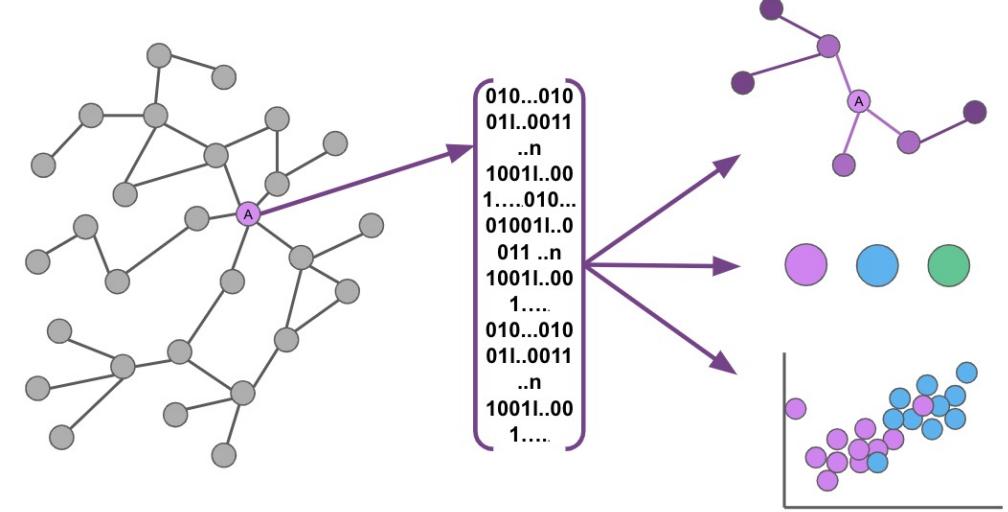
- Пример интеллектуального агента ping-pong обученного на кафедре

<https://github.com/iu5git/ai-bot-games-in-js>

- Обучение с подкреплением или по данным игры пользователя

# Вычисления в графах

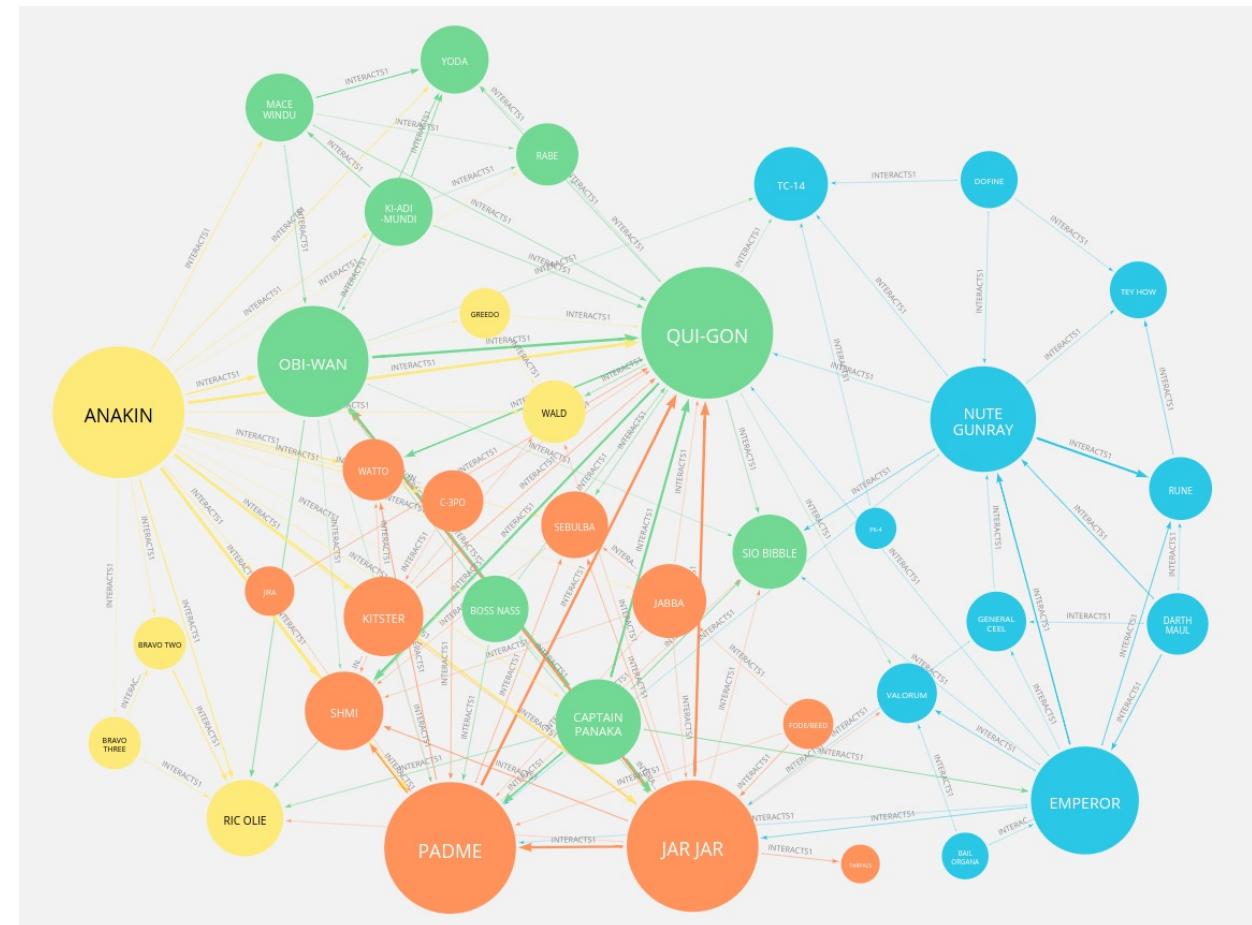
- Графовая БД Neo4j
- GraphML



Neighborhood  
Prediction

Classification

Visualization



# Распознавание лиц/угроз на изображении

- Различные методы распознавания лиц

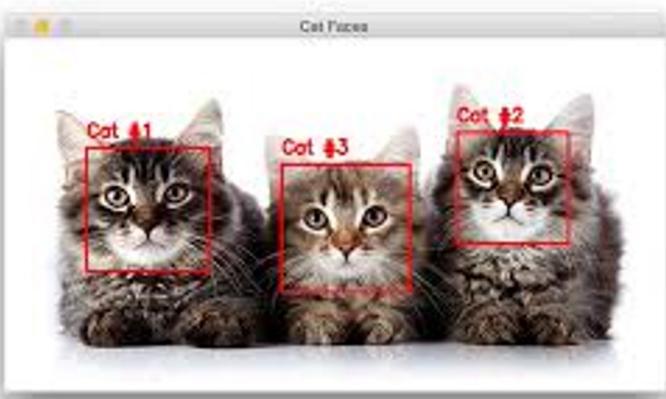


Распознавание и локализация yolo:

- Оружия
- Масок и тд

# Машинное обучение

- Машинное обучение – это возможность обучать компьютер без детального программирования
- Для обучения компьютера используются наборы примеров для решения задач, которые сложно представить в программном коде



- **Распознавание рукописных символов**
  - Преобразование рукописных букв в цифровые буквы
- **Перевод языка**
  - Перевод произнесенного или написанного текста на другой язык (пример - Google Translate)
- **Распознавание голоса**
  - Преобразование голоса в текст (пример - Siri, Cortana, и Alexa)
- **Классификация изображений**
  - Разметка фотографии в соответствии с категорией (пример - Google Photos)
- **Беспилотное вождение**
  - Обучение машин вождению

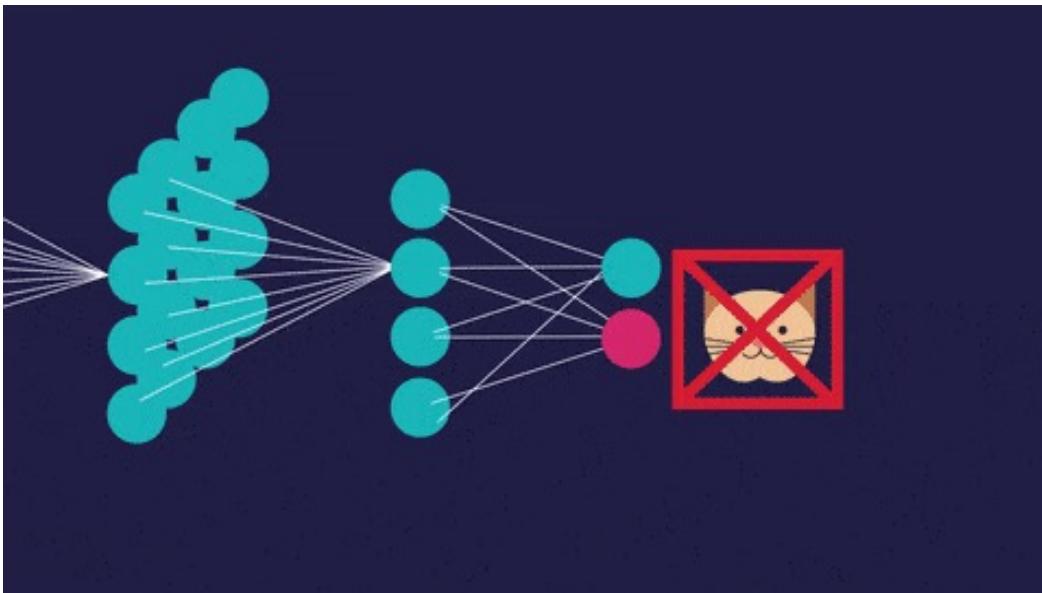
First Name	L	O	R	I								
Last Name	W	A	L	T	E	R	S					

# Типы машинного обучения

- Обучение с учителем
  - Обучающие данные размечены
  - Задачей является правильно определить класс объекта
- Обучение с подкреплением
  - Обучающие данные не размечены
  - Система получает обратную связь от своих действий
  - Задачей является выбор правильных действий
- Обучение без учителя
  - Обучающие данные не размечены
  - Задачей является правильно определить категорию
- Алгоритмы обучения с учителем
  - Линейная регрессия
  - Дерево решений
  - Машина опорных векторов (SVM)
  - К-ближайших соседей
  - Нейронные сети

# Обучение нейросети

## ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ



- Процедуры для обучения нейронных сетей
  - Произвести инференс на обучающем наборе
  - Вычислить ошибку между спрогнозированными значениями и истинными значениями на обучающем наборе
  - Определите вклад каждого нейрона в ошибку
  - Изменить веса нейронной сети для минимизации ошибки

# Фреймворки обучения с учителем

 PyTorch



TensorFlow

 Keras

# Метрики для классификации

Прогноз:



Картина:



**Истинно  
Положи-  
тельное  
(TP)**

**Истинно  
Отрицат-  
ельное  
(TN)**

**Ложно  
Отрицат-  
ельное  
(FP)**

**Ложно  
Положи-  
тельное  
(FN)**

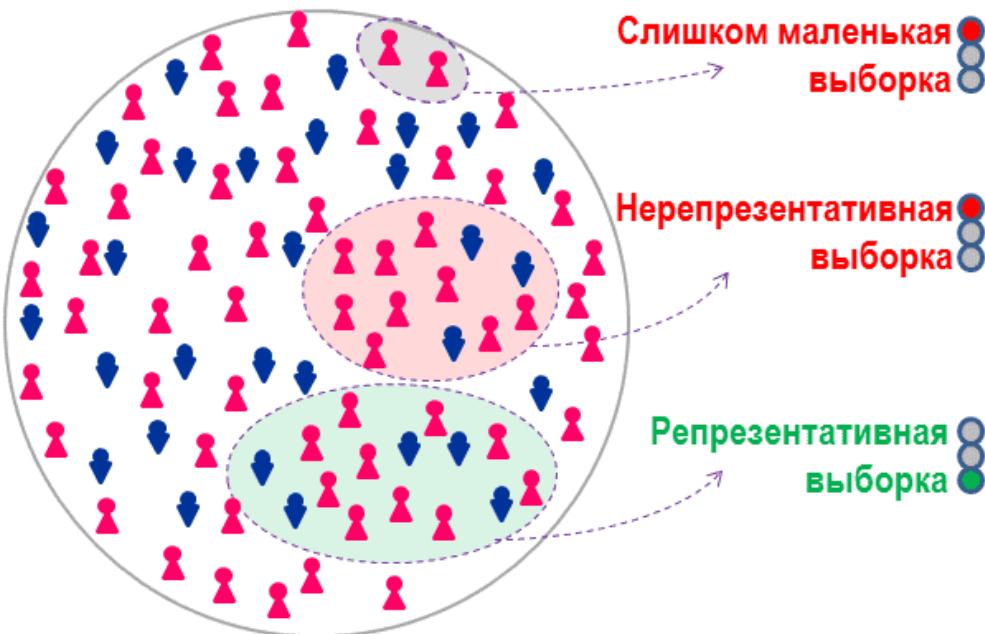
- Истинно положительные (True Positive, TP): Правильно определенная как соответствующая
- Истинно отрицательные (True Negative, TN): Правильно определенная как не соответствующая
- Ложно положительные (False Positive, FP): Неправильно определенная как соответствующая
- Ложно отрицательные (False Negative, FN): Неправильно определенная как не соответствующая

# Precision, Recall, и Accuracy

- Точность (Precision)
  - Процент положительных меток которые правильно определены
  - $\text{Precision} = (\# \text{ true positives}) / (\# \text{ true positives} + \# \text{ false positives})$
- Полнота (Recall)
  - Процент положительных примеров которые были правильно определены
  - $\text{Recall} = (\# \text{ true positives}) / (\# \text{ true positives} + \# \text{ false negatives})$
- Accuracy
  - Процент положительных меток
  - $\text{Accuracy} = (\# \text{ true positives} + \# \text{ true negatives}) / (\# \text{ of samples})$

# Тестовая и обучающая выборки

Генеральная совокупность включает ♂ - 1/3 и ♀ - 2/3



- Входные данные и метки
- Тестовая и обучающая части набора данных

```
with open('cifar-100-python/train', 'rb') as f:  
    data_train = pickle.load(f, encoding='latin1')  
with open('cifar-100-python/test', 'rb') as f:  
    data_test = pickle.load(f, encoding='latin1')
```

Обучающая  
выборка

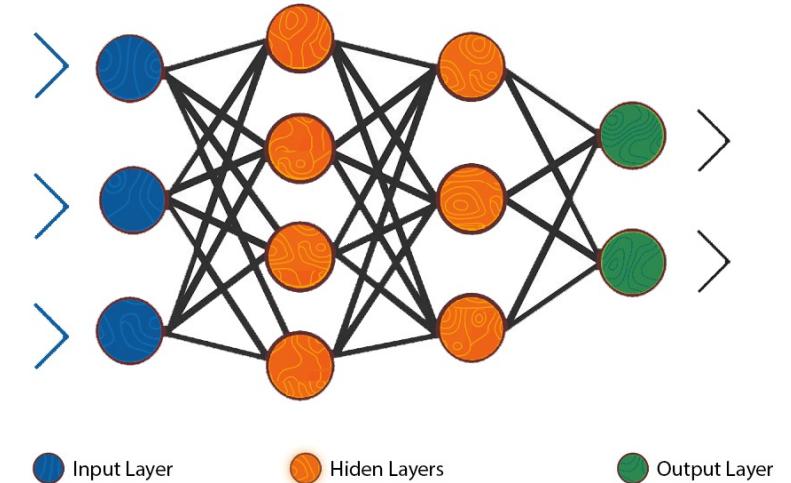
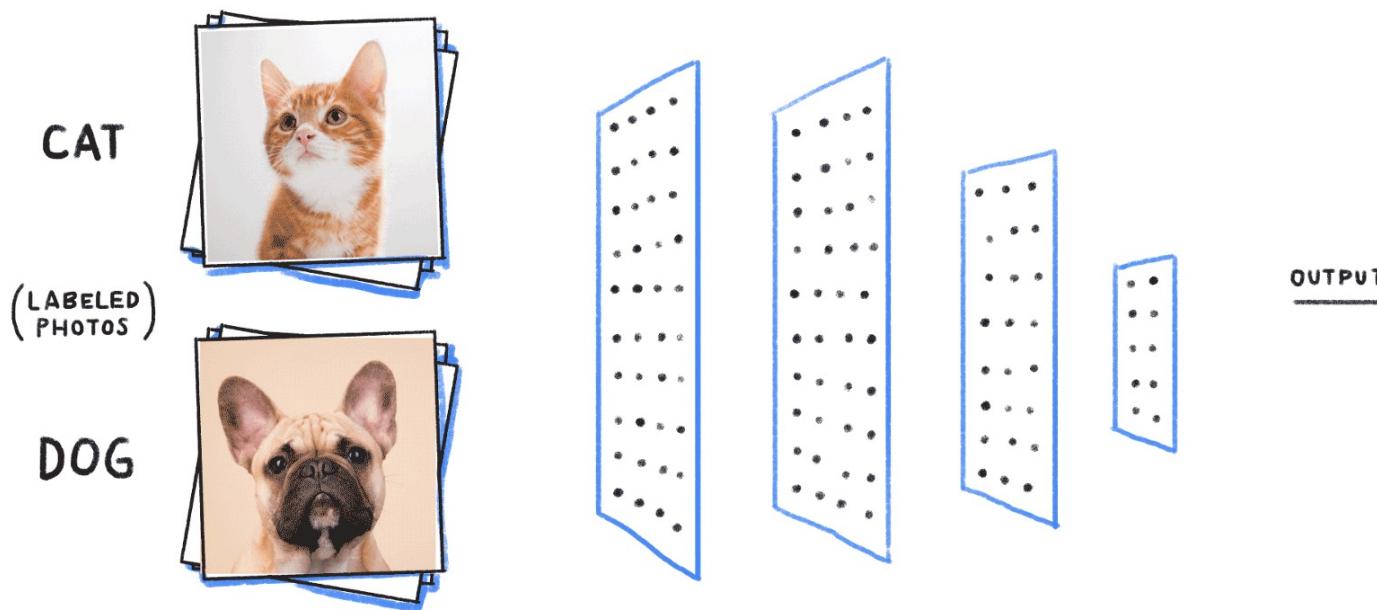
0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
3	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
4	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
5	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
6	6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
7	7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
8	8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
9	9 9 9 9 9 9 9 9 9 9

Тестовая  
выборка

0	0 0 0 0 0 0
1	1 1 1 1 1 1
2	2 2 2 2 2 2
3	3 3 3 3 3 3
4	4 4 4 4 4 4
5	5 5 5 5 5 5
6	6 6 6 6 6 6
7	7 7 7 7 7 7
8	8 8 8 8 8 8
9	9 9 9 9 9 9

# Нейронная сеть

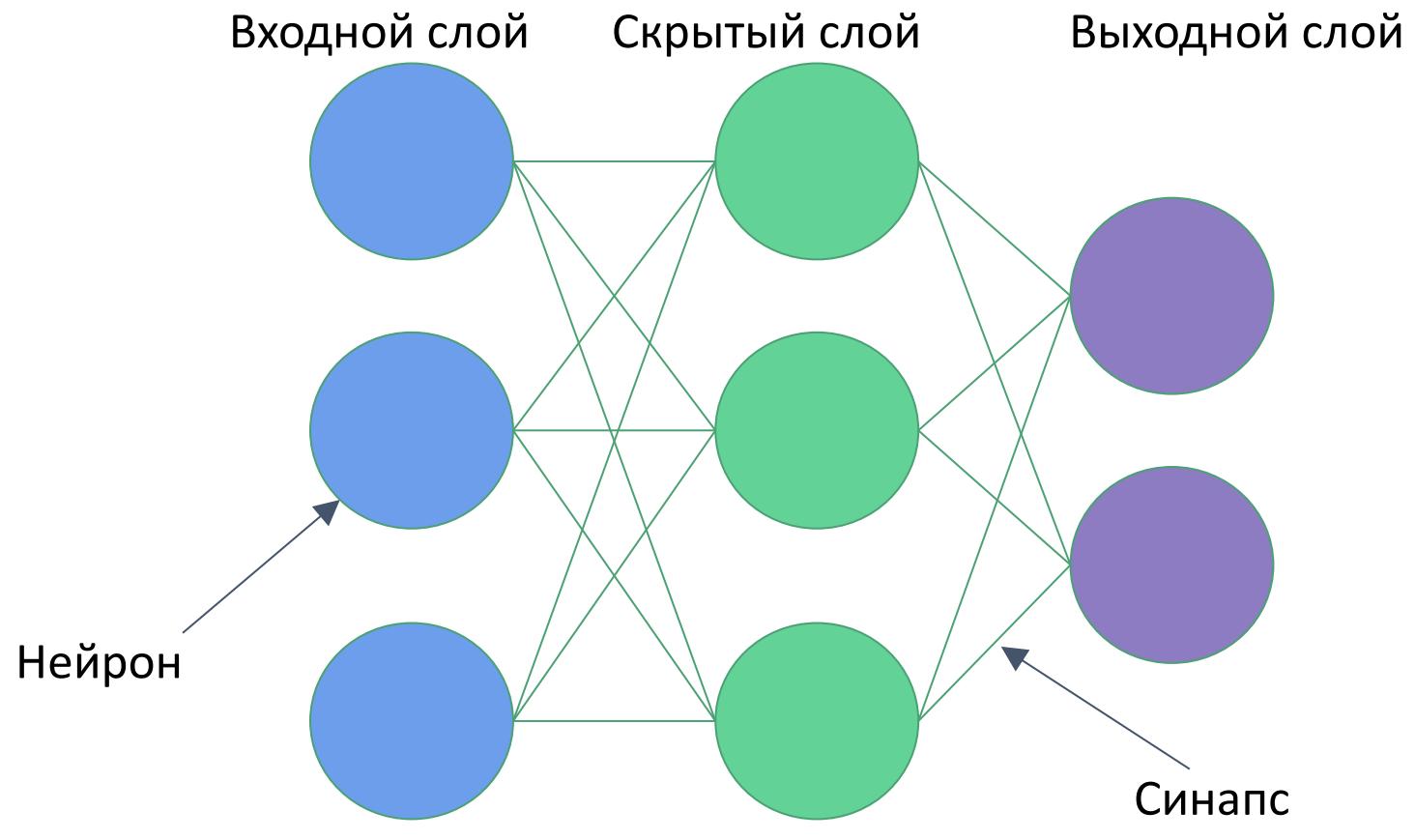
- Сеть состоит из слоев нейронов
- Каждый нейрон – сумматор
- Обучение – вычисление весов w нейрона



# Архитектура нейронной сети

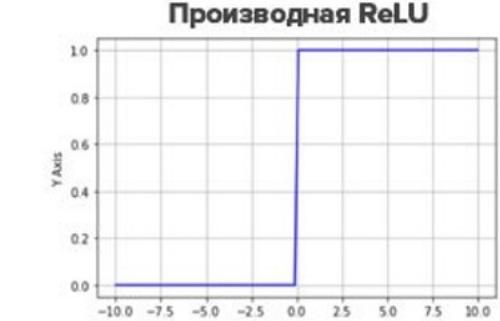
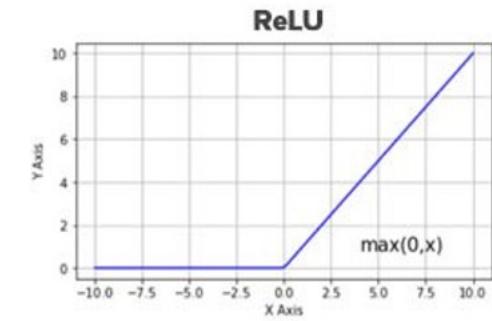
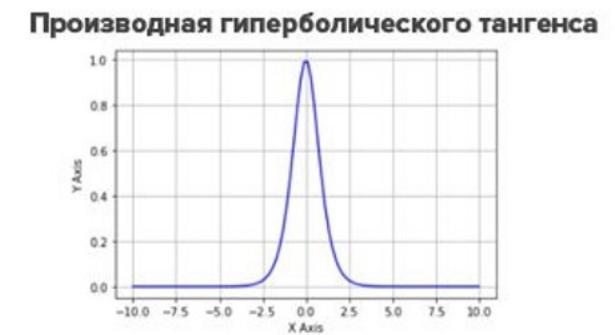
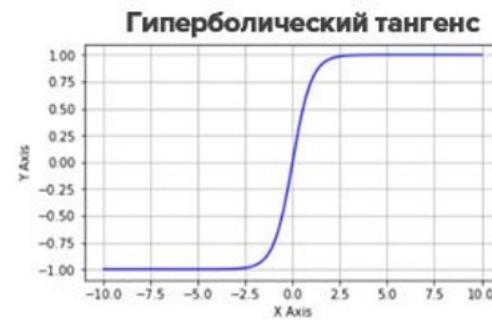
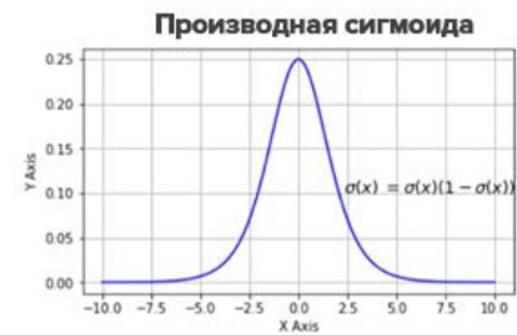
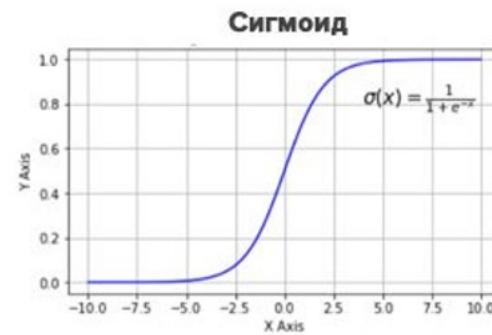
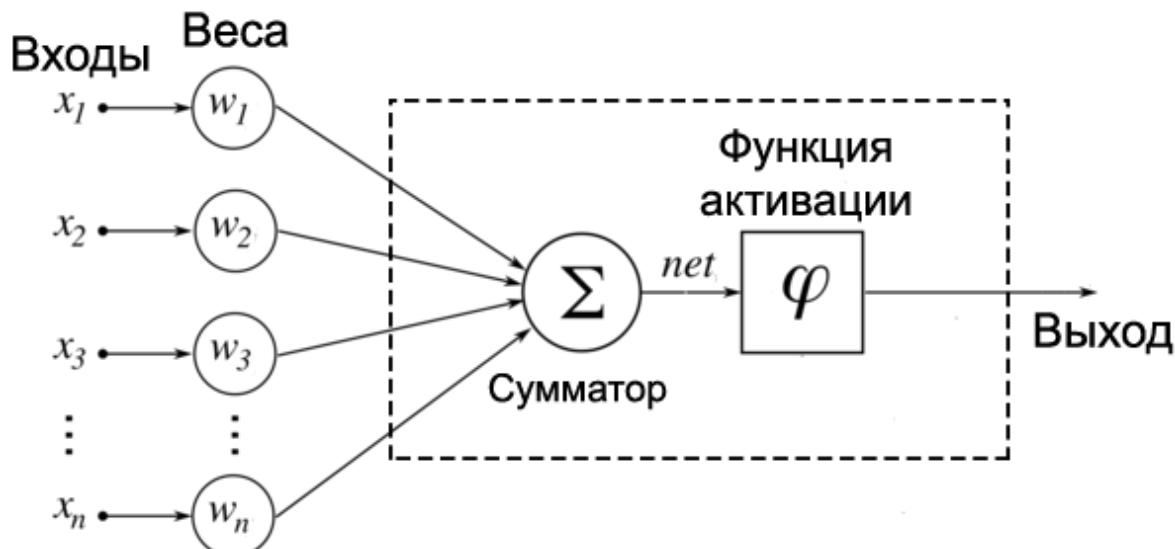
- Хорошая классификация при малом объеме входных данных
- Очень много связей при большом объеме данных

```
self.seq = nn.Sequential(  
    nn.Linear(32*32*3, hidden_size),  
    nn.ReLU(),  
    # активационная функция  
    nn.Linear(hidden_size, classes), )
```

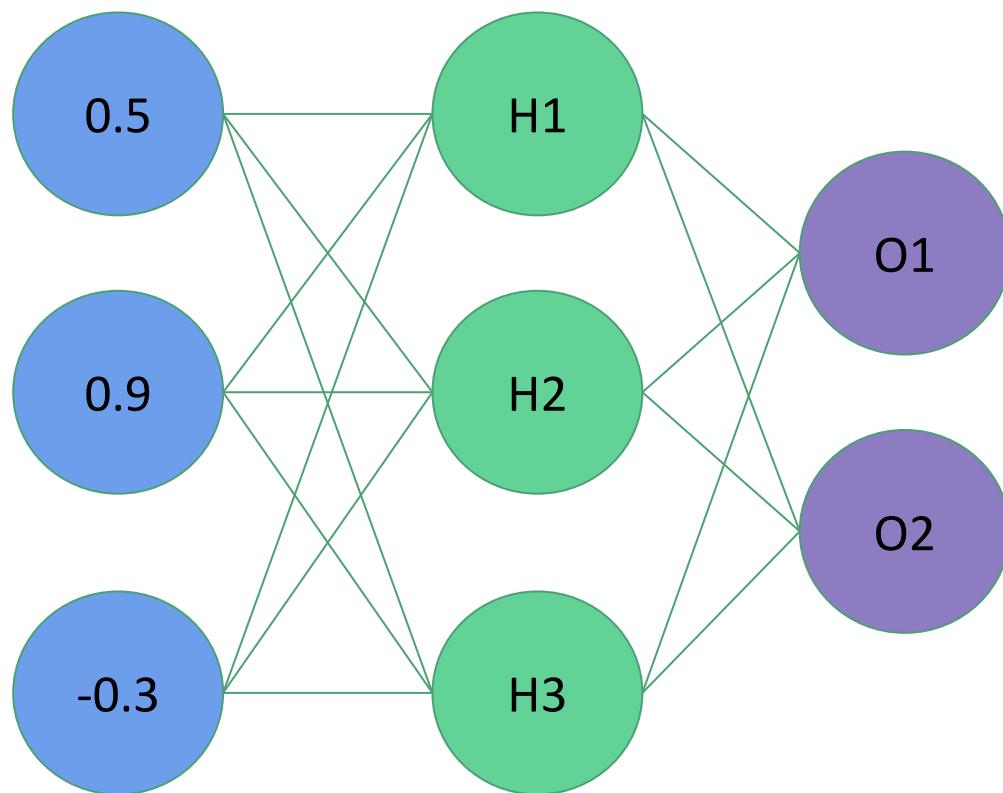


# Устройство нейрона

- Помимо сумматора есть активационная функция
- Они разные для разных задач



# Вычисление прогноза (инференс)



Веса H1 = (1.0, -2.0, 2.0)

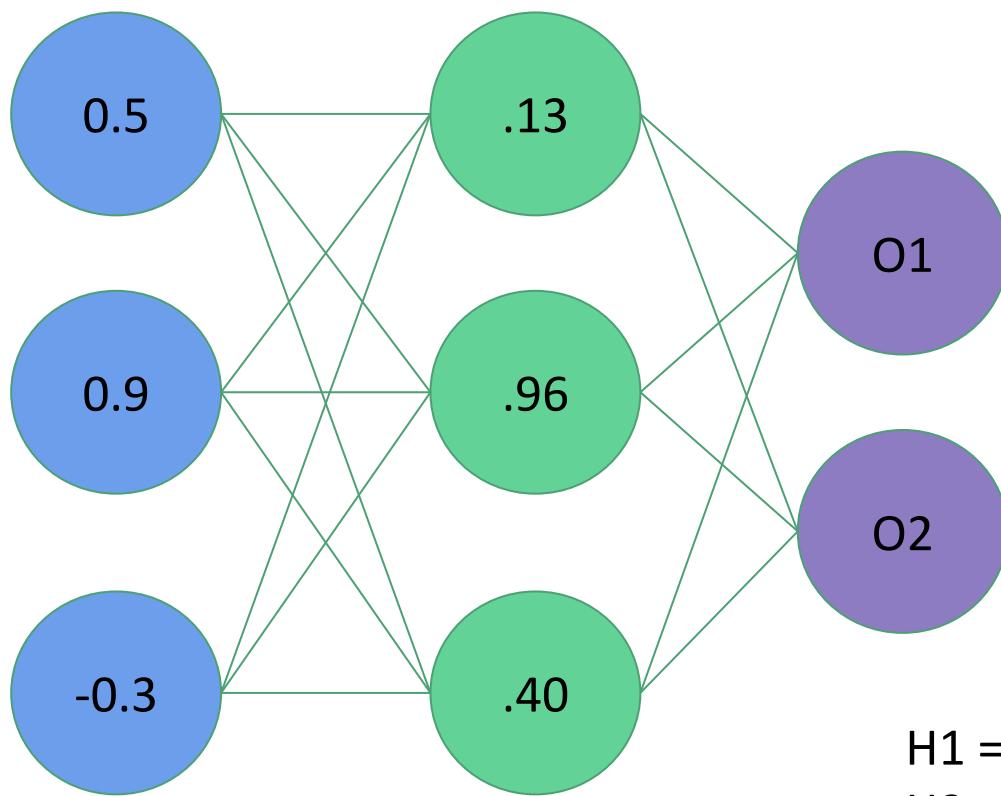
Веса H2 = (2.0, 1.0, -4.0)

Веса H3 = (1.0, -1.0, 0.0)

Веса O1 = (-3.0, 1.0, -3.0)

Веса O2 = (0.0, 1.0, 2.0)

# Вычисление прогноза (инференс)



$$\text{Веса } H1 = (1.0, -2.0, 2.0)$$

$$\text{Веса } H2 = (2.0, 1.0, -4.0)$$

$$\text{Веса } H3 = (1.0, -1.0, 0.0)$$

$$\text{Веса } O1 = (-3.0, 1.0, -3.0)$$

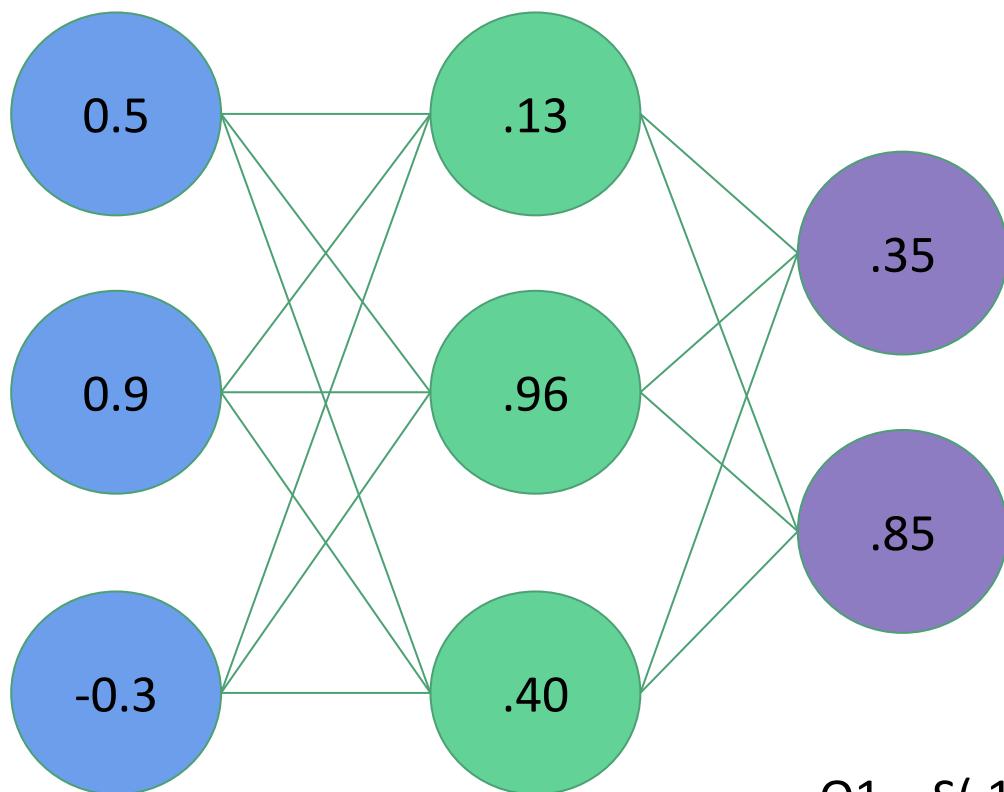
$$\text{Веса } O2 = (0.0, 1.0, 2.0)$$

$$H1 = S(0.5 * 1.0 + 0.9 * -2.0 + -0.3 * 2.0) = S(-1.9) = .13$$

$$H2 = S(0.5 * 2.0 + 0.9 * 1.0 + -0.3 * -4.0) = S(3.1) = .96$$

$$H3 = S(0.5 * 1.0 + 0.9 * -1.0 + -0.3 * 0.0) = S(-0.4) = .40$$

# Вычисление прогноза (инференс)



$$\text{Веса } H1 = (1.0, -2.0, 2.0)$$

$$\text{Веса } H2 = (2.0, 1.0, -4.0)$$

$$\text{Веса } H3 = (1.0, -1.0, 0.0)$$

$$\text{Веса } O1 = (-3.0, 1.0, -3.0)$$

$$\text{Веса } O2 = (0.0, 1.0, 2.0)$$

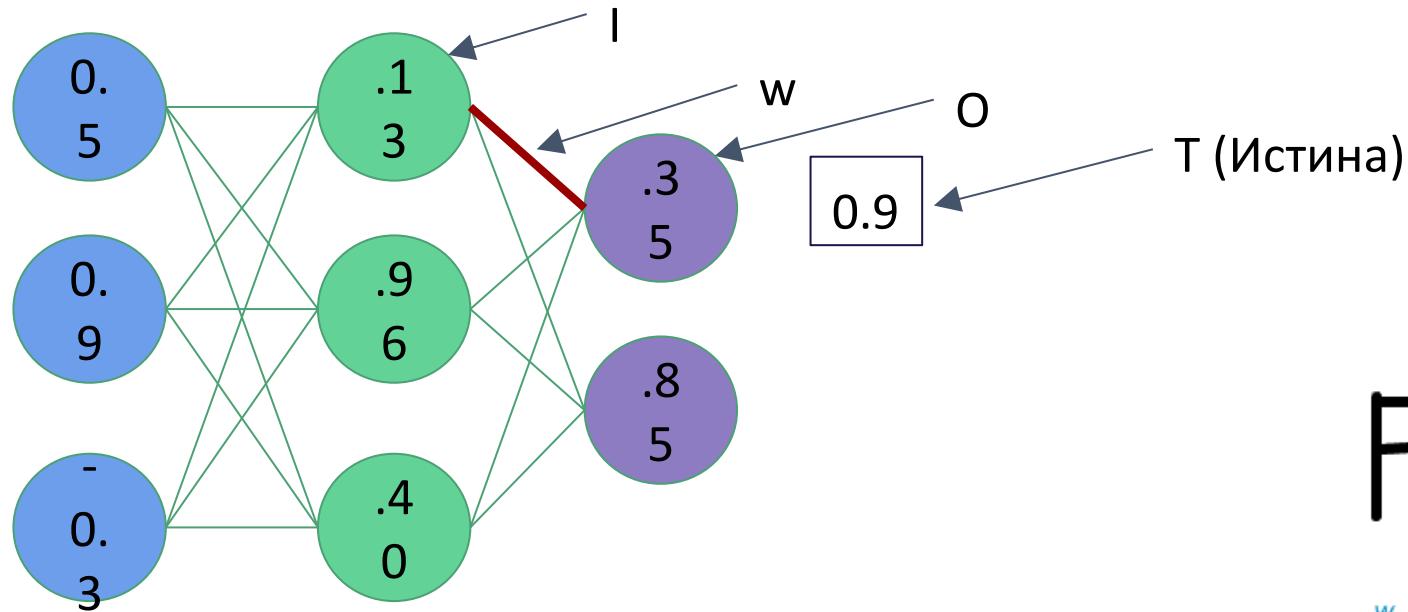
$$O1 = S(0.13 * -3.0 + 0.96 * 1.0 + 0.40 * -3.0) = S(-0.63) = 0.35$$

$$O2 = S(0.13 * 0.0 + 0.96 * 1.0 + 0.40 * 2.0) = S(1.76) = 0.85$$

# Метод градиентного спуска

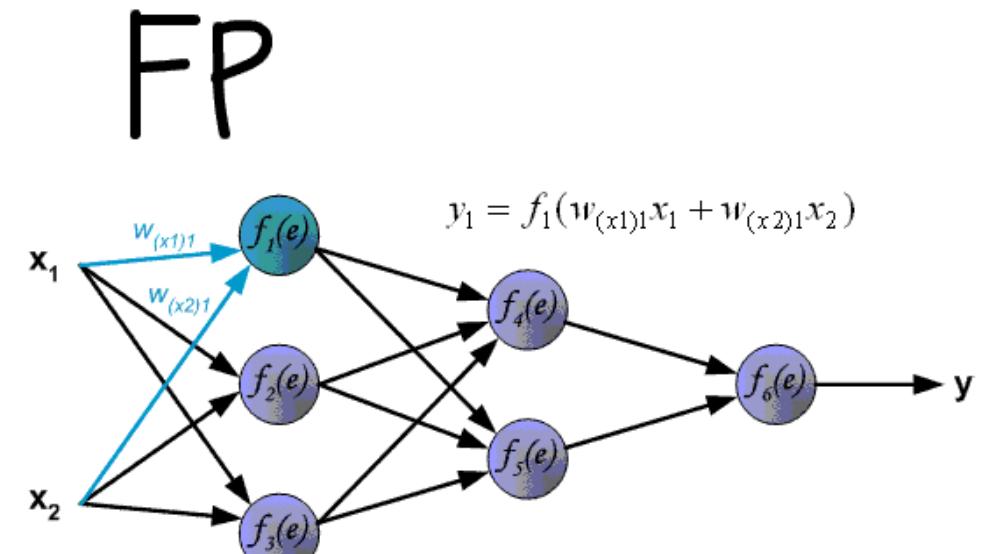
- Вклад в размер ошибки вычисляется с помощью обратного распространения (Backpropagation)
- Минимизация ошибки достигается благодаря градиентному спуску (Gradient Descent)
- Метод градиентного спуска минимизирует ошибку нейронной сети
  - На каждой итерации ошибка сети рассчитывается на основе обучающих данных
  - Затем модифицируются веса для уменьшения ошибки
- Метод градиентного спуска останавливается когда:
  - Ошибка достаточно мала
  - Максимальное количество итераций превышено
- Вопрос: какие веса должны быть обновлены и на сколько?
  - Подсказка: используйте производную от ошибки по отношению к весу, чтобы найти объем «вины»

# Пример обратного распространения



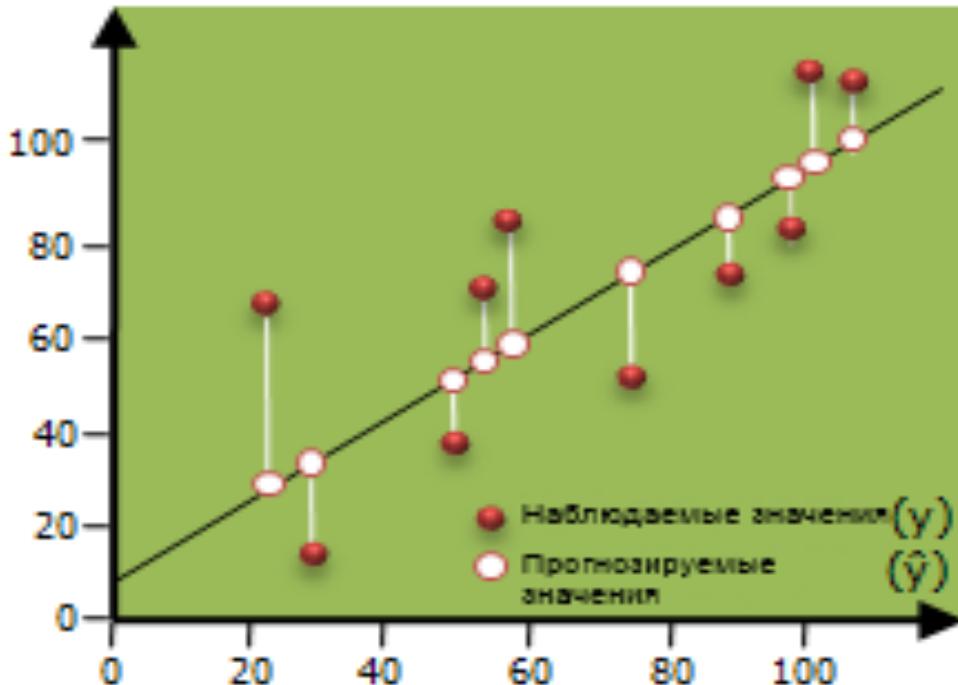
$$\frac{\partial E}{\partial w} = I \cdot (O - T) \cdot O \cdot (1 - O)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w} = .13 \cdot (.35 - .9) \cdot .35 \cdot (1 - .35)$$

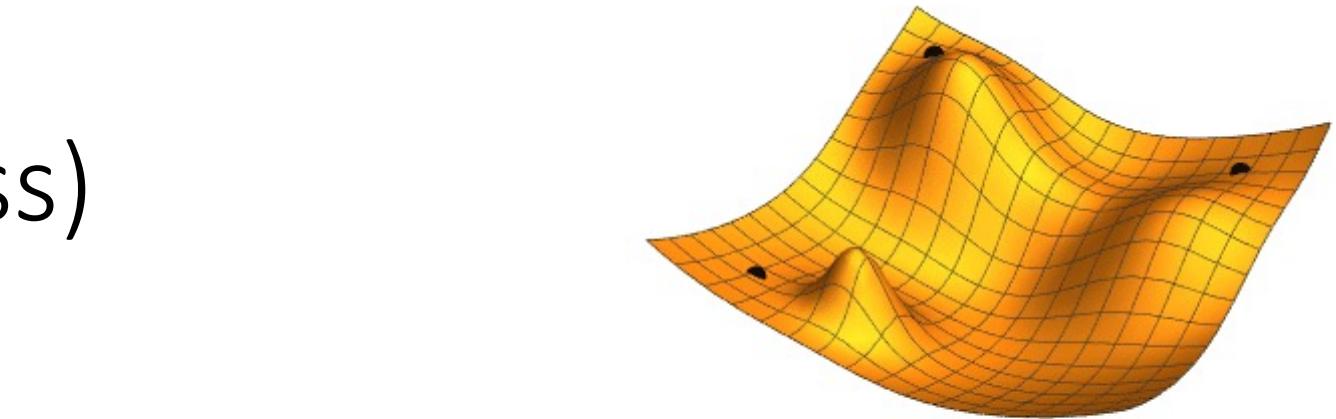


# ФУНКЦИЯ ПОТЕРЬ (loss)

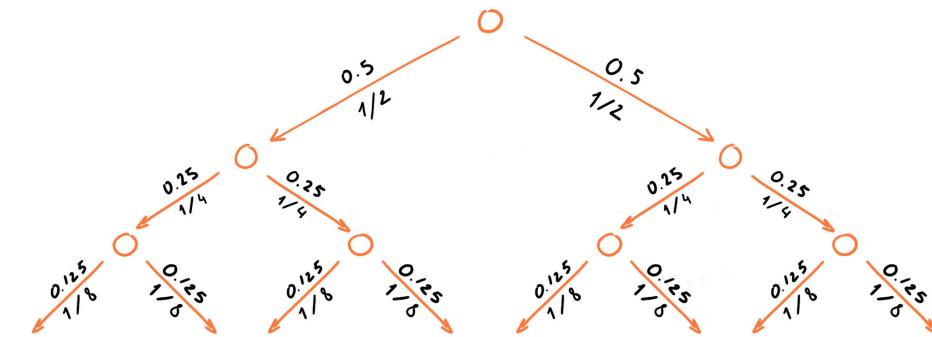
- Нам нужен минимум функции потерь
- Метод наименьших квадратов (снизу)
- Кроссэнтропия (справа)



$$H_p(q) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cdot \log(p(y_i)) + (1 - y_i) \cdot \log(1 - p(y_i))$$



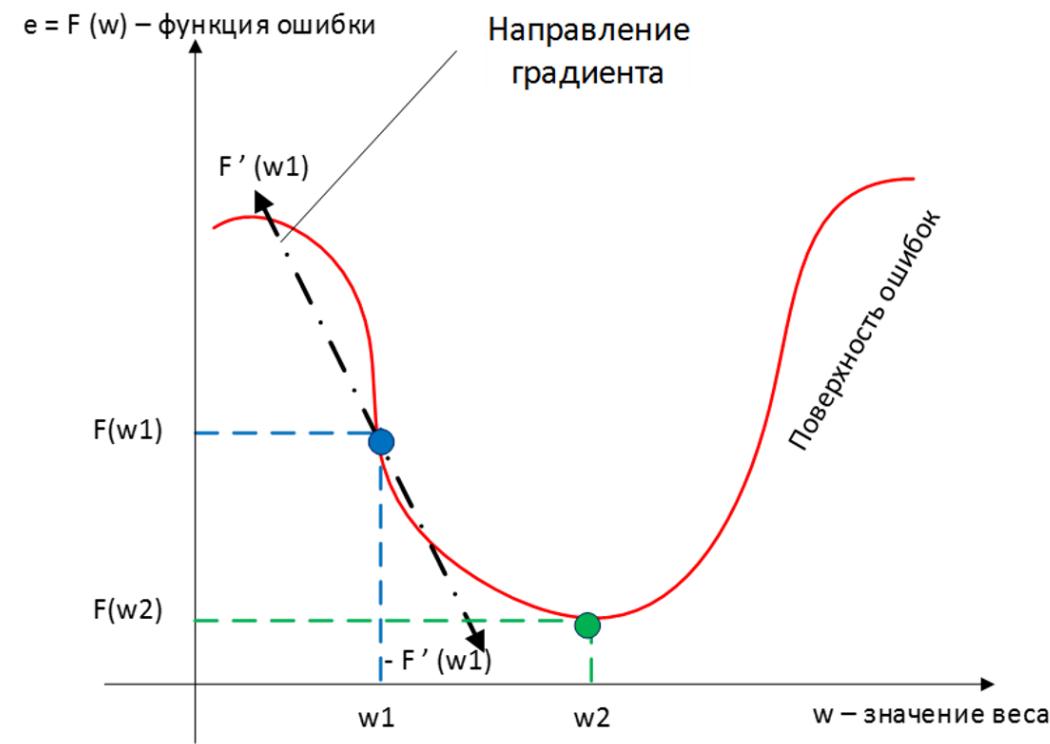
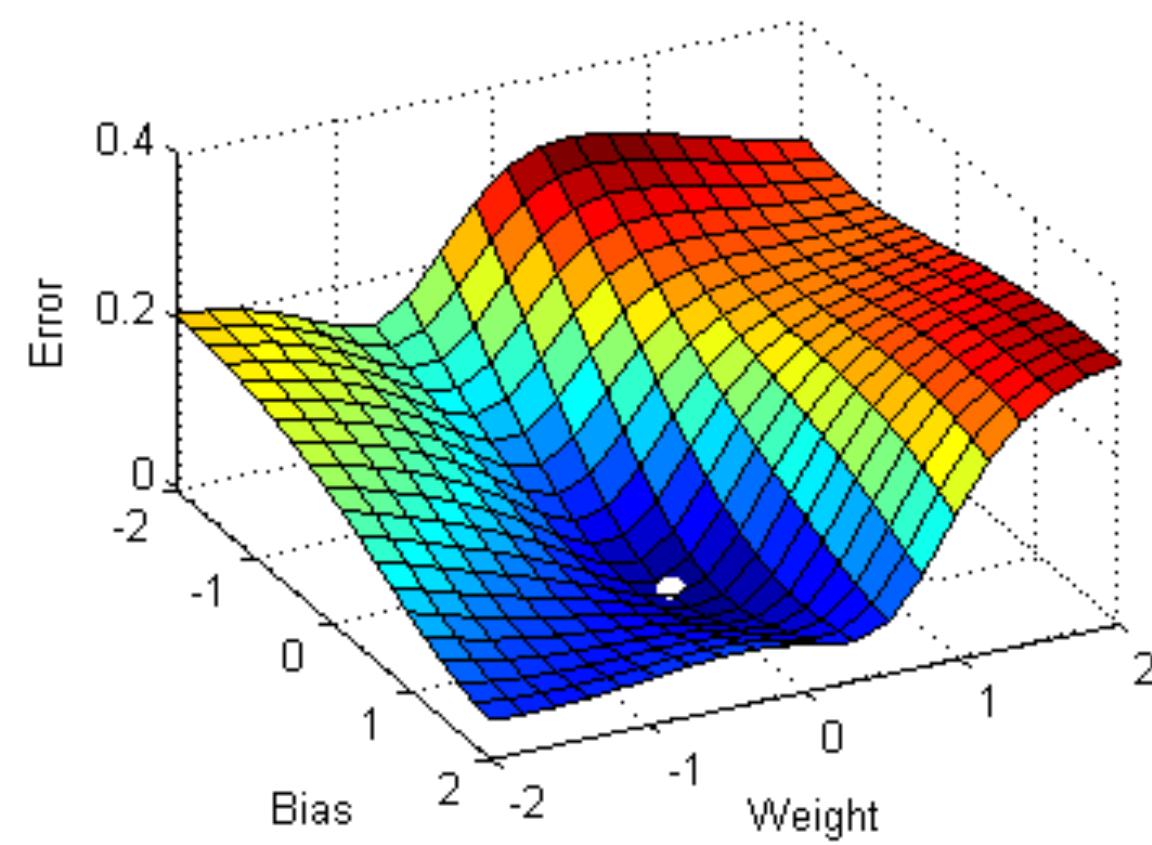
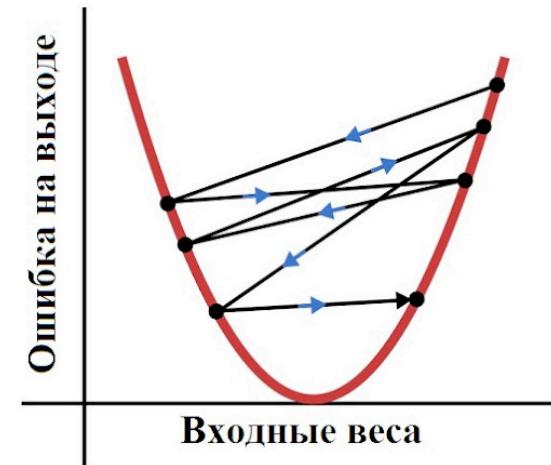
# Функция потерь criterion = nn.CrossEntropyLoss()



$2^0 = 1$	$\log_2(1) = 0$
$2^1 = 2$	$\log_2(2) = 1$
$2^2 = 4$	$\log_2(4) = 2$
$2^3 = 8$	$\log_2(8) = 3$

# Градиентный спуск

# lr - шаг обучения. Данный параметр можно изменять.  
optimizer = optim.SGD(model.parameters(), lr=0.005)



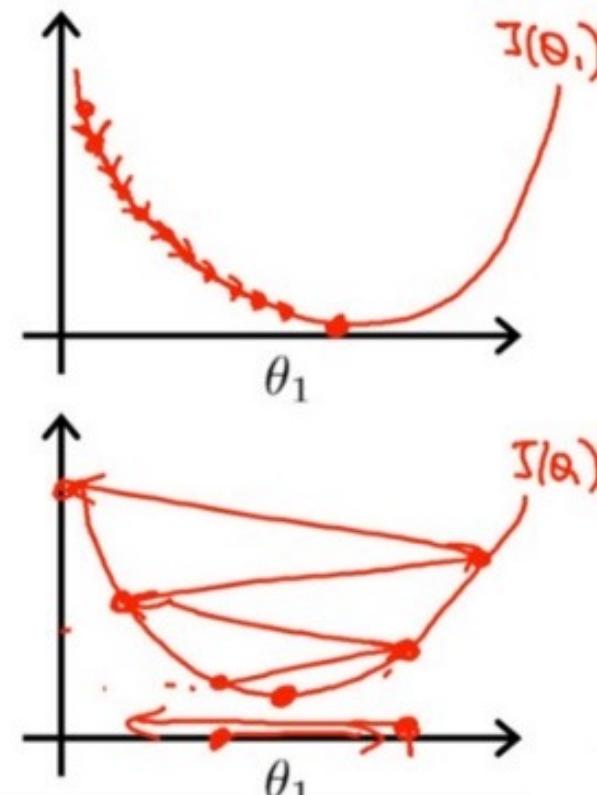
# Скорость обучения

- Параметры (веса) сети меняются при обучении
- Гиперпараметры – нет. Управляем обучением

$$\theta_1 := \theta_1 - \alpha \frac{\partial}{\partial \theta_1} J(\theta_1)$$

Если  $\alpha$  слишком маленькая, то градиентный спуск может быть слишком медленным.

Если  $\alpha$  слишком большая, то градиентный спуск может не попасть в точку минимума. Кроме того, сходимость может быть не достигнута.



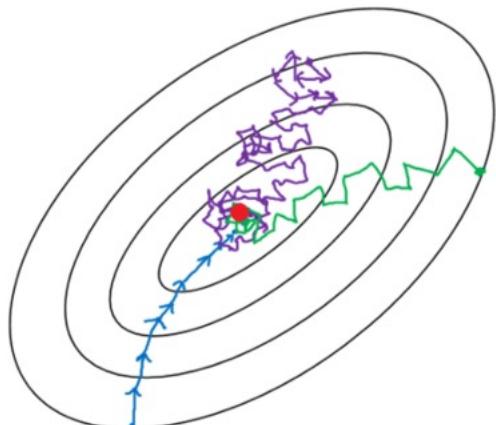
# Итерации и эпохи

- Итерации – один шаг обучения
- Эпоха – обход всех экземпляров набора данных

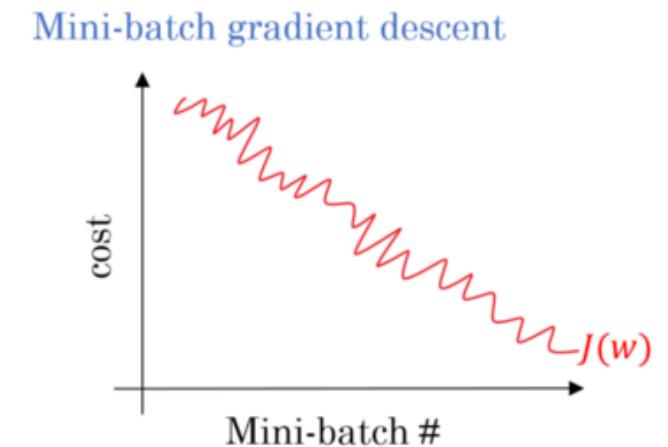
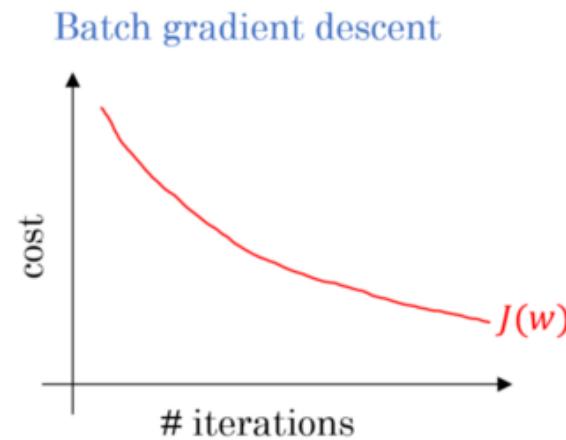
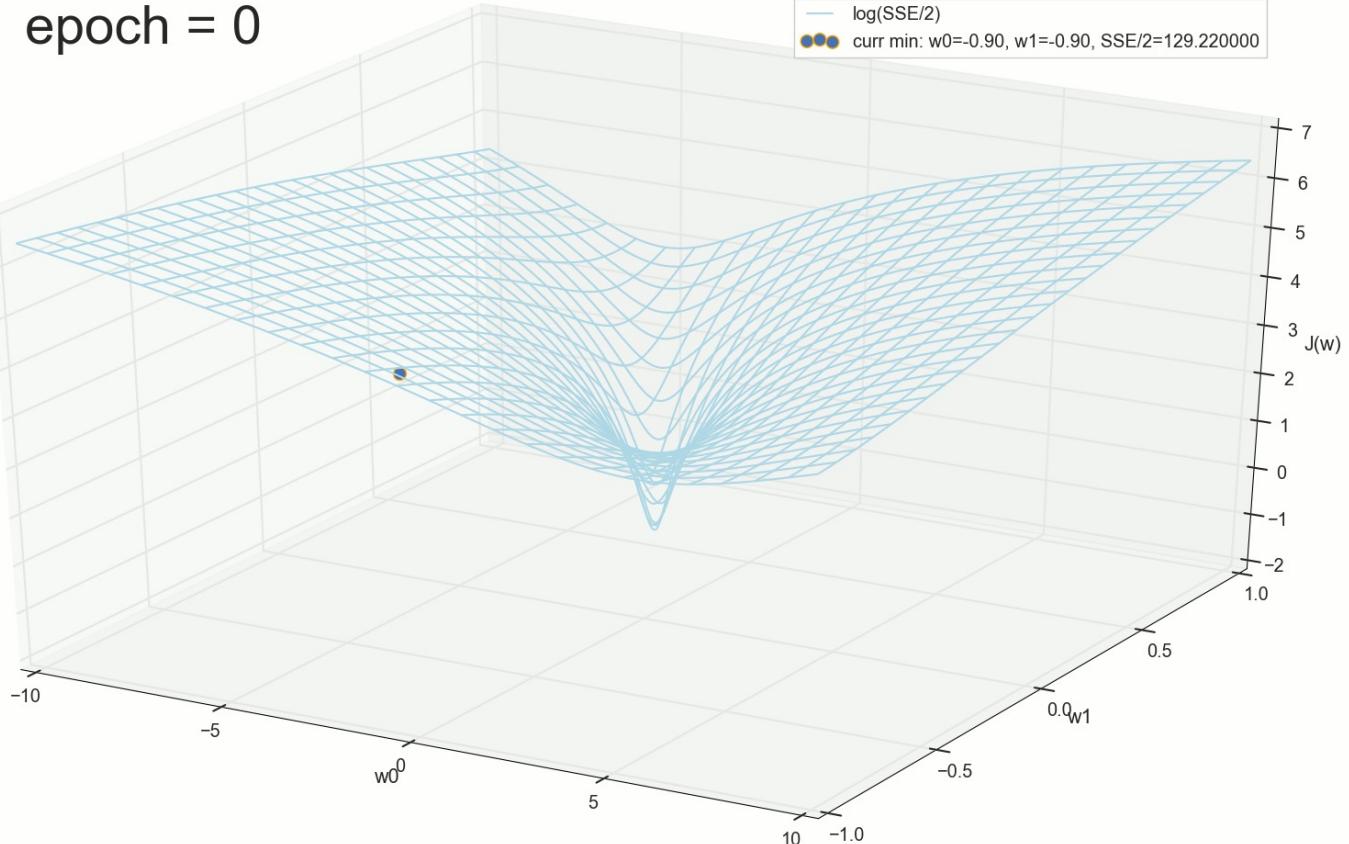


# БАТЧИ

- Функцию потерь считаем по одному примеру, но потом их складываем в одну
- Обучать на всем датасете – долго. Каждый раз берем небольшую порцию данных
- Но обучение становится хаотичнее



— Batch gradient descent  
— Mini-batch gradient Descent  
— Stochastic gradient descent



# Стохастическое vs пакетное обновление

## Стохастическое

### – Преимущества:

- Быстрая сходимость на больших избыточных данных
- Стохастическая траектория позволяет избежать локальных минимумов

### – Недостатки:

- Продолжает «прыгать», если скорость обучения не уменьшается
- Теоретические условия сходимости не так понятны, как для пакетного обновления
- Доказательства сходимости вероятностны
- Большинство хороших способов ускорения или методов второго порядка не работают со стохастическим градиентом
- Сложнее распараллелить, чем пакетное обновление

## Пакетное

### – Преимущества:

- Гарантированное сходимость к локальному минимуму в простых условиях
- Много способов и методов второго порядка для ускорения
- Простые доказательства сходимости

### – Недостатки:

- Болезненно медленный на больших задачах
- Несмотря на длинный список недостатков для стохастического обновления, это то, что большинство людей используют (что справедливо, по крайней мере, для больших задач).

# Обучение

```
EPOCHS = 250
steps_per_epoch = len(dataloader['train'])
steps_per_epoch_val = len(dataloader['test'])
for epoch in range(EPOCHS): # проход по набору данных несколько раз
    running_loss = 0.0
    model.train()
    for i, batch in enumerate(dataloader['train'], 0):
        # получение одного минибатча; batch это двуэлементный список из [inputs, labels]
        inputs, labels = batch

        # очищение прошлых градиентов с прошлой итерации
        optimizer.zero_grad()

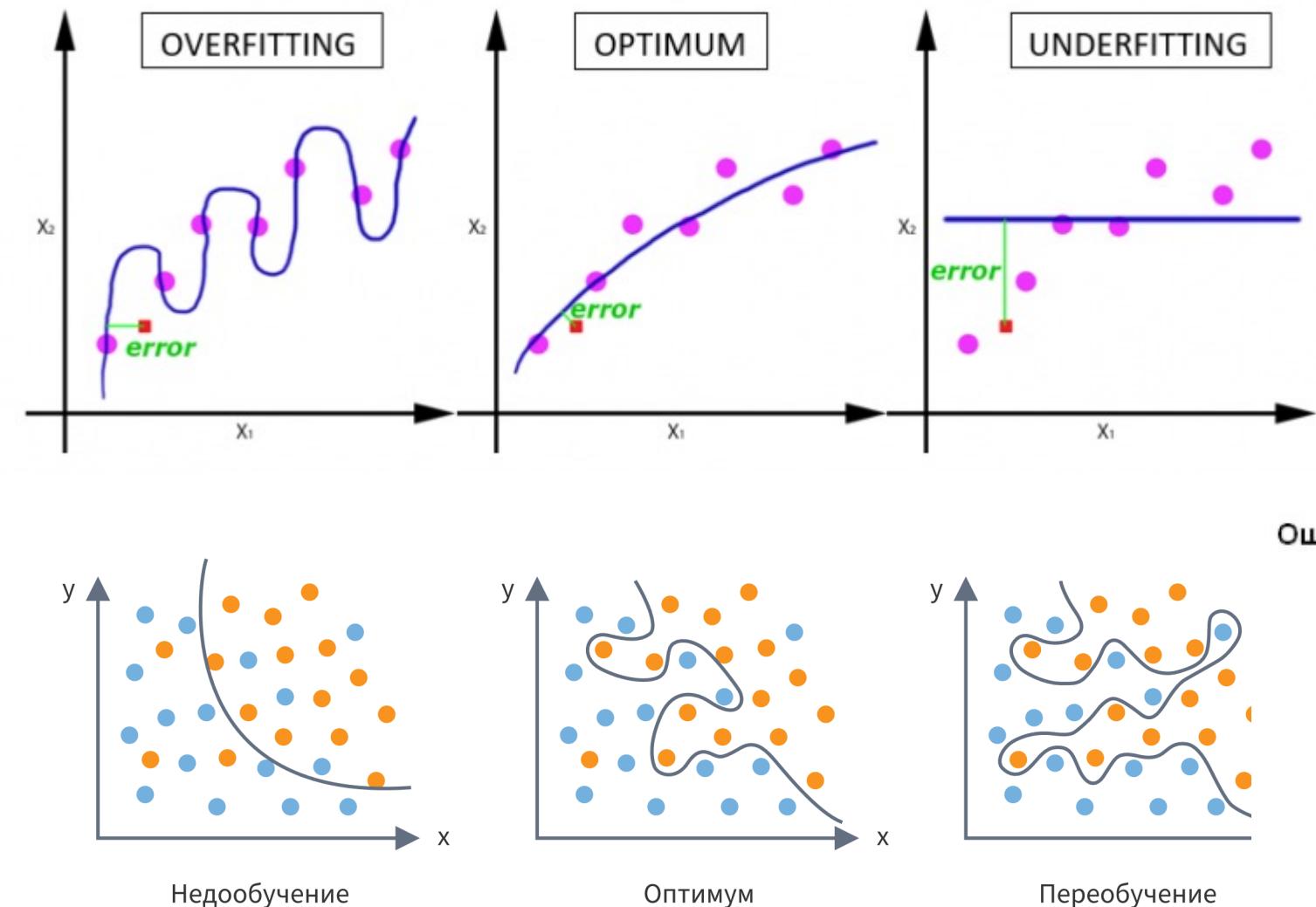
        # прямой + обратный проходы + оптимизация
        outputs = model(inputs)
        loss = criterion(outputs, labels)
        #loss = F.cross_entropy(outputs, labels)
        loss.backward()

        #Для обновления параметров нейронной сети используется метод step, применённый к экземпляру
        optimizer.step()
```

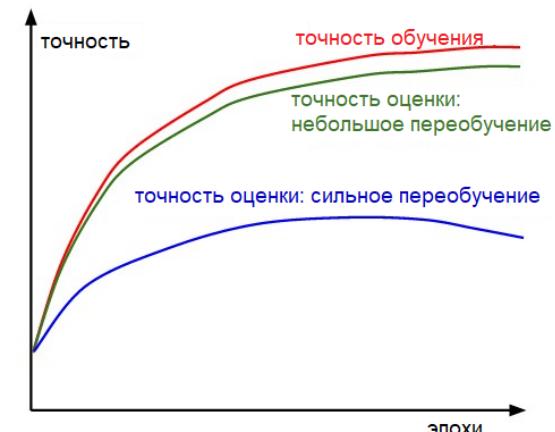
# Итоговая точность

train		precision	recall	f1-score	support
	0	0.9940	1.0000	0.9970	500
	55	1.0000	0.9900	0.9950	500
	58	0.9960	1.0000	0.9980	500
		accuracy		0.9967	1500
macro avg		0.9967	0.9967	0.9967	1500
weighted avg		0.9967	0.9967	0.9967	1500
-----					
test		precision	recall	f1-score	support
	0	0.8120	0.9500	0.8756	100
	55	0.7396	0.7100	0.7245	100
	58	0.7471	0.6500	0.6952	100
		accuracy		0.7700	300
macro avg		0.7662	0.7700	0.7651	300
weighted avg		0.7662	0.7700	0.7651	300
-----					

# Точность, переобучение



- Переобучение при долгом обучении слишком сложной модели



# Cifar100

- Набор данных, состоящий из цветных изображений 100 классов
- Размер 32 на 32 пикселя
- 3 цвета

**airplane**



**automobile**



**bird**



**cat**



**deer**



**dog**



**frog**



**horse**



**ship**



**truck**



# ONNX

## Step 3. Select class labels and get predictions

Выбрать файл cifar100\_CNN.onnx Select ONNX file

Выбрать файл c25c94fe96\_1000.jpg

Class label 54 Add 10 Random Undo Reset

0,50,54



<https://github.com/iu5git/MPPR>

