

# Машинное обучение: ошибки при работе над проектами

MADE academy  
Эмели Драль

# Этапы работы над проектом

- Постановка задачи
- Определение метрик и критериев успеха
- Оценка доступных данных
- Обучение моделей
- Тестирование моделей (эксперимент)
- Разработка сервиса
- Тестирование качества работы сервиса
- Мониторинг и поддержка качества сервиса, регулярное дообучение модели

Что может пойти не так?

# Этапы работы над проектом

- Постановка задачи
- Определение метрик и критериев успеха
- Оценка доступных данных
- Обучение моделей
- Тестирование моделей (эксперимент)
- Разработка сервиса
- Тестирование качества работы сервиса
- Мониторинг и поддержка качества сервиса, регулярное дообучение модели

# Ошибки при работе с DS проектами

1. Постановка задач и оценка эффекта
2. Метрики и критерии качества
3. Обучение моделей
4. Тестирование моделей

# Постановка задач и оценка эффекта

# Конфликт постановок

Мы измеряем успех с точки зрения бизнес-цели  
А задачу оптимизации решаем математически

Постановка  
задачи

Поэтому, оптимизируя некоторые показатели качества,  
мы надеемся оптимизировать KPI бизнеса.

# Два взгляда на задачу

Постановка  
задачи

Business goal



Math problem statement



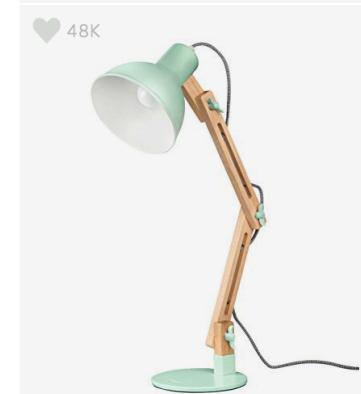
# Постановка задачи

## Постановка задачи

- Соответствует ли математическая постановка бизнес-задаче?

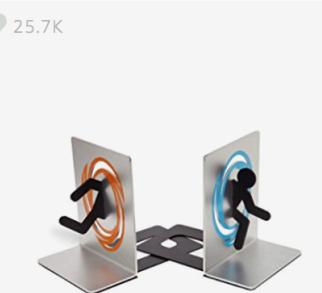
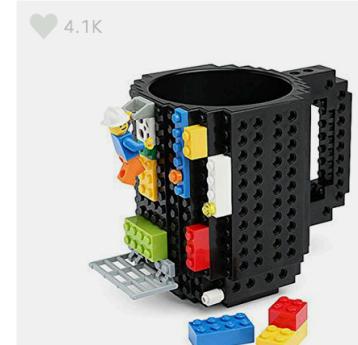
# Постановка задачи

## Постановка задачи



RAINBOW  
MAGIC

BY JANET ZHU



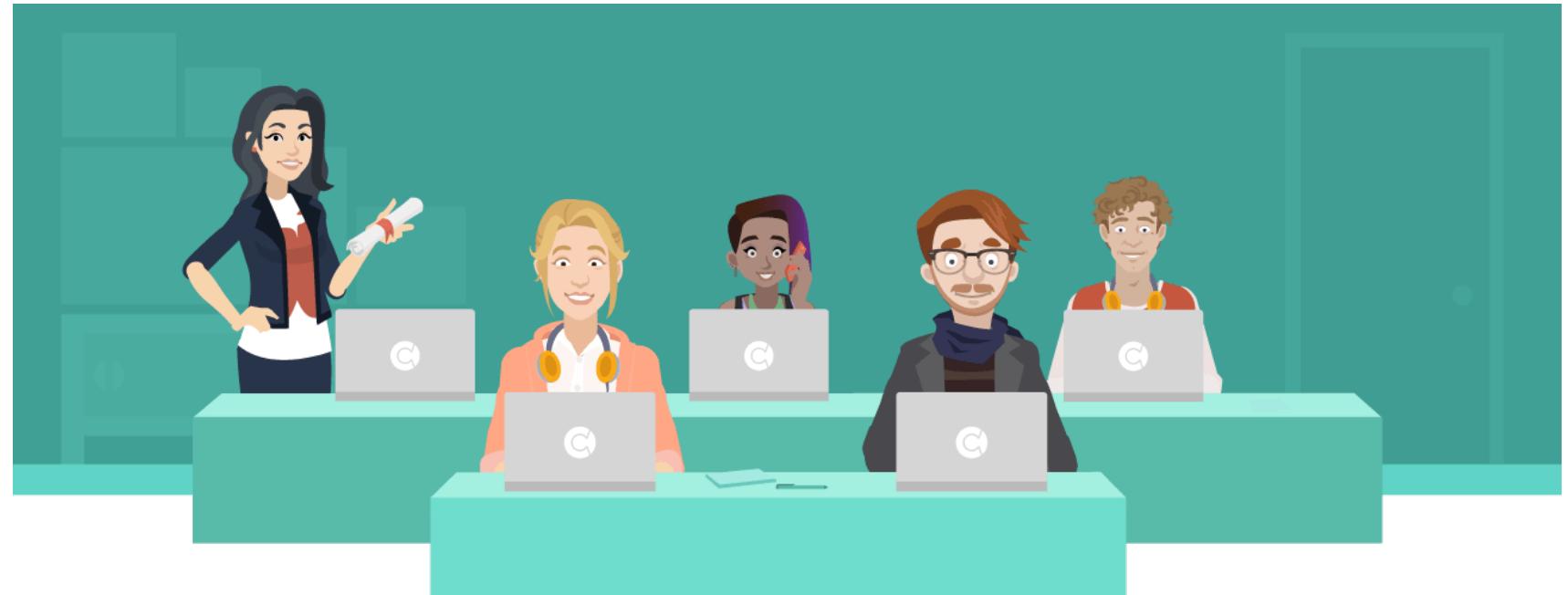
## Оценка эффекта

### Бизнес-процесс

- Нуждается ли бизнес процесс в оптимизации?

# Оценка эффекта

# Бизнес-процесс



## Оценка эффекта

### Экономическая эффективность

- Обоснован ли проект экономически?

## Оценка эффекта

# Последовательная оптимизация модели

- Are you making more money than you are spending?
- Knowing when to stop improving a once profitable model is also an important lesson to learn.

<http://www.cbronline.com/news/big-data/analytics/five-questions-every-business-must-ask-starting-machine-learning-project/>

# Определение метрик и критериев успеха

# Метрики и критерии успеха

## Метрики качества

Метрик качества очень много, одно и то же решение можно оценить сразу несколькими.

Например, метрики для качества прогноза:

- MAE
- MSE
- RMSE
- MAPE
- WAPE
- SMAPE

и пр.

# Метрики и критерии успеха

## Фиксация метрик, критериев успеха

### MAPE

- Средняя ошибка прогноза в процентах
- $MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{|a_i - f_i|}{|a_i|}$

### SMAPE

- Симметричная средняя ошибка прогноза в процентах
- $SMAPE = \sum_{i=1}^n \frac{|a_i - f_i|}{|a_i + f_i|/2}$

# Метрики и критерии успеха

## Фиксация метрик, критериев успеха

### MAPE

- Недопрогнозирование:  
actual = 100  
forecast = 90  
mape = 10%
- Перепрогнозирование  
actual = 100  
forecast = 110  
mape = 10%

# Метрики и критерии успеха

## Фиксация метрик, критериев успеха

### MAPE

- Недопрогнозирование:  
actual = 100  
forecast = 90  
mape = 10%
- Перепрогнозирование  
actual = 100  
forecast = 110  
mape = 10%

### SMAPE

- Недопрогнозирование:  
actual = 100  
forecast = 90  
mape = 10,5%
- Перепрогнозирование  
actual = 100  
forecast = 110  
mape = 9,5%

# Метрики и критерии успеха

## Метрики качества

Важно, чтобы метрики успеха:

- Были адекватны математической постановке задачи
- Отвечали потребностям бизнеса
- Были зафиксированы до начала разработки и тестирования
- Не пересматривались в процессе или после тестирования (особенно актуально для пилотов, АБ-тестов)

# Обучение моделей

# Обучение модели

- Будет ли модель, построенная по историческим данным, работать в production?

Обучение  
модели

# Обучение модели

## Внешние данные

Moscow

Wed

Cloudy



9 °C | °F

Precipitation: 20%

Humidity: 83%

Wind: 6 m/s

Temperature

Precipitation

Wind



Wed



9° 6°

Thu



9° 5°

Fri



10° 6°

Sat



8° 4°

Sun



7° 6°

Mon



9° 5°

Tue



9° 5°

Wed



8° 4°

# Доступность данных

Обучение модели

| Schicht / Datum                | Einheiten | D/02.02.03        |
|--------------------------------|-----------|-------------------|
| Sorte                          |           | Newsprint heastel |
| FLG                            |           |                   |
| Stoffverhältnis DIP / Etik.    |           |                   |
| V - Sieb                       |           |                   |
| V - Poproller                  |           |                   |
| Arbeitsbreite                  |           |                   |
| Stoffauflauf                   |           |                   |
| Auslaufverhältnis              |           |                   |
| Druck                          |           |                   |
| PD Innendruck                  |           |                   |
| Druckwaage / Spülung           |           |                   |
| Lippeneöffnung                 |           |                   |
| Vorderwand                     |           |                   |
| Pumpendrehzahl                 |           |                   |
| Schüttelbock Freq.             |           |                   |
| Schüttelbock Hub               |           |                   |
| Duoformer D                    |           |                   |
| Scimmer / Entwässe             |           |                   |
| 1. Zone                        |           |                   |
| 2. Zone                        |           |                   |
| Obersiebentwässerung           |           |                   |
| Druck Leiste                   |           |                   |
| Einlaufwalze Duofo             |           |                   |
| Vakuumeinstellen               |           |                   |
| 1.Vakufoil                     |           |                   |
| 2. Vakufoil / Naß              |           |                   |
| Doppelvakuf                    |           |                   |
| Scimmer                        |           |                   |
| 1.Formationszone               |           |                   |
| 2. Zone (Trockengehalt)        |           |                   |
| Trennsauger                    |           |                   |
| Flachsäuger                    |           |                   |
| SSW                            |           |                   |
| PU Haltezone                   |           |                   |
| PU Preßzone                    |           |                   |
| Pressenpartie / Linienkraft    |           |                   |
| 1.Presse                       |           |                   |
| 2.Presse                       |           |                   |
| 3.Presse                       |           |                   |
| Pressmantelstellung            |           |                   |
|                                |           | Korrektur         |
| Schicht / Datum                |           | B                 |
| Sorte                          |           | Newsprint heastel |
| FLG                            |           |                   |
| Stoffverhältnis DIP / Etik.    |           |                   |
| V - Sieb                       |           |                   |
| V - Poproller                  |           |                   |
| Arbeitsbreite                  |           |                   |
| Stoffauflauf                   |           |                   |
| Auslaufverhältnis              |           |                   |
| Druck                          |           |                   |
| PD Innendruck                  |           |                   |
| Druckwaage / Spülung           |           |                   |
| Lippeneöffnung                 |           |                   |
| Vorderwand                     |           |                   |
| Pumpendrehzahl                 |           |                   |
| FU-Stoffauflaufpumpe           |           |                   |
| Schüttelbock Freq.             |           |                   |
| Schüttelbock Hub               |           |                   |
| Duoformer D                    |           |                   |
| Obersiebentwässerung           |           |                   |
| Scimmer / Entwässe             |           |                   |
| 1. Zone                        |           |                   |
| 2. Zone                        |           |                   |
| Druck Leiste 1 + 2             |           |                   |
| Druck Leiste 3                 |           |                   |
| Druck Leiste 4                 |           |                   |
| Druck Leiste 5 + 6             |           |                   |
| Druck Leiste 7 + 8             |           |                   |
| Druck Leiste 9 + 10            |           |                   |
| Einlaufwalze Duoformer / Spalt |           |                   |
| Vakuumeinstellungen            |           |                   |
| 1.Vakufoil                     |           |                   |
| 2. Vakufoil / Naßsauger        |           |                   |
| Doppelvakufoil                 |           |                   |
| Scimmer                        |           |                   |
| 1.Formationszone               |           |                   |
| 2. Zone (Trockengehalt)        |           |                   |
| Trennsauger                    |           |                   |
| Flachsäuger                    |           |                   |
| SSW                            |           |                   |
| PU Haltezone                   |           |                   |
| PU Preßzone                    |           |                   |
| Pressenpartie / Linienkraft    |           |                   |
| 1.Presse                       |           |                   |
| 2.Presse                       |           |                   |
| 3.Presse                       |           |                   |
| Pressmantelstellung            |           |                   |
|                                |           | Korrektur         |
| Schicht / Datum                |           | C                 |
| Sorte                          |           | Newsprint heastel |
| FLG                            |           |                   |
| Stoffverhältnis DIP / Etik.    |           |                   |
| V - Sieb                       |           |                   |
| V - Poproller                  |           |                   |
| Arbeitsbreite                  |           |                   |
| Stoffauflauf                   |           |                   |
| Auslaufverhältnis              |           |                   |
| Druck                          |           |                   |
| PD Innendruck                  |           |                   |
| Druckwaage / Spülung           |           |                   |
| Lippeneöffnung                 |           |                   |
| Vorderwand                     |           |                   |
| Pumpendrehzahl                 |           |                   |
| FU-Stoffauflaufpumpe           |           |                   |
| Schüttelbock Freq.             |           |                   |
| Schüttelbock Hub               |           |                   |
| Duoformer D                    |           |                   |
| Obersiebentwässerung           |           |                   |
| Scimmer / Entwässe             |           |                   |
| 1. Zone                        |           |                   |
| 2. Zone                        |           |                   |
| Druck Leiste 1 + 2             |           |                   |
| Druck Leiste 3                 |           |                   |
| Druck Leiste 4                 |           |                   |
| Druck Leiste 5 + 6             |           |                   |
| Druck Leiste 7 + 8             |           |                   |
| Druck Leiste 9 + 10            |           |                   |
| Einlaufwalze Duoformer / Spalt |           |                   |
| Vakuumeinstellungen            |           |                   |
| 1.Vakufoil                     |           |                   |
| 2. Vakufoil / Naßsauger        |           |                   |
| Doppelvakufoil                 |           |                   |
| Scimmer                        |           |                   |
| 1.Formationszone               |           |                   |
| 2. Zone (Trockengehalt)        |           |                   |
| Trennsauger                    |           |                   |
| Flachsäuger                    |           |                   |
| SSW                            |           |                   |
| PU Haltezone                   |           |                   |
| PU Preßzone                    |           |                   |
| Pressenpartie / Linienkraft    |           |                   |
| 1.Presse                       |           |                   |
| 2.Presse                       |           |                   |
| 3.Presse                       |           |                   |
| Pressmantelstellung            |           |                   |
|                                |           | Korrektur         |
| Schicht / Datum                |           | D                 |
| Sorte                          |           | Newsprint heastel |
| FLG                            |           |                   |
| Stoffverhältnis DIP / Etik.    |           |                   |
| V - Sieb                       |           |                   |
| V - Poproller                  |           |                   |
| Arbeitsbreite                  |           |                   |
| Stoffauflauf                   |           |                   |
| Auslaufverhältnis              |           |                   |
| Druck                          |           |                   |
| PD Innendruck                  |           |                   |
| Druckwaage / Spülung           |           |                   |
| Lippeneöffnung                 |           |                   |
| Vorderwand                     |           |                   |
| Pumpendrehzahl                 |           |                   |
| FU-Stoffauflaufpumpe           |           |                   |
| Schüttelbock Freq.             |           |                   |
| Schüttelbock Hub               |           |                   |
| Duoformer D                    |           |                   |
| Obersiebentwässerung           |           |                   |
| Scimmer / Entwässe             |           |                   |
| 1. Zone                        |           |                   |
| 2. Zone                        |           |                   |
| Druck Leiste 1 + 2             |           |                   |
| Druck Leiste 3                 |           |                   |
| Druck Leiste 4                 |           |                   |
| Druck Leiste 5 + 6             |           |                   |
| Druck Leiste 7 + 8             |           |                   |
| Druck Leiste 9 + 10            |           |                   |
| Einlaufwalze Duoformer / Spalt |           |                   |
| Vakuumeinstellungen            |           |                   |
| 1.Vakufoil                     |           |                   |
| 2. Vakufoil / Naßsauger        |           |                   |
| Doppelvakufoil                 |           |                   |
| Scimmer                        |           |                   |
| 1.Formationszone               |           |                   |
| 2. Zone (Trockengehalt)        |           |                   |
| Trennsauger                    |           |                   |
| Flachsäuger                    |           |                   |
| SSW                            |           |                   |
| PU Haltezone                   |           |                   |
| PU Preßzone                    |           |                   |
| Pressenpartie / Linienkraft    |           |                   |
| 1.Presse                       |           |                   |
| 2.Presse                       |           |                   |
| 3.Presse                       |           |                   |
| Pressmantelstellung            |           |                   |
|                                |           | Korrektur         |

# Тестирование моделей

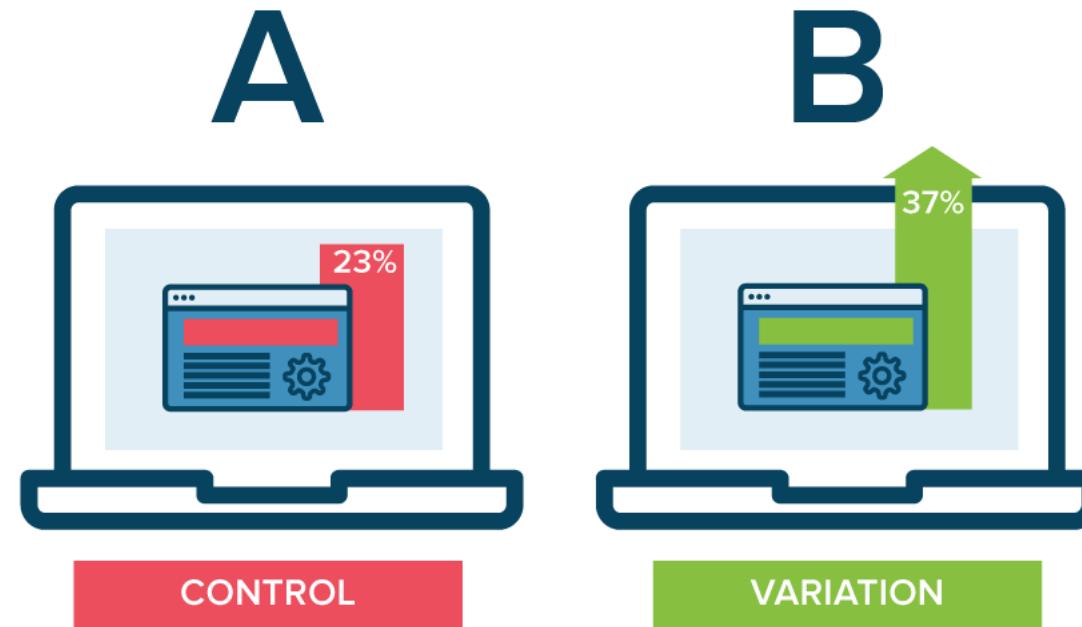
# Дизайн эксперимента

## Дизайн эксперимента

- Позволяет ли эксперимент достоверно оценить качество модели в production?

# Дизайн эксперимента

Дизайн  
эксперимента



## Дизайн эксперимента

### A/Б-тестирование

- Пользователи (объекты) делятся на контрольную и тестовую группы
- Едновременно тестируется только одно изменение

## Дизайн эксперимента

### A/B-тестирование

- Пользователи делятся на контрольную и тестовую группы
- Едновременно тестируется только одно изменение
- Оцениваются отличия между контрольной и тестовой группой
- Оценка проверяется на практическую и статистическую значимость
- Метрики и критерии успеха фиксируются до начала тестирования
- Метрики и критерии не пересматриваются в процессе или после тестирования

## Дизайн эксперимента

# Разработка дизайна эксперимента



## Дизайн эксперимента

### Значимость результатов

- Будут ли результаты, полученные в процессе эксперимента, воспроизводиться в дальнейшем?

# Дизайн эксперимента

## Статистическая и практическая значимость

- Статистическая значимость: проверяется, свидетельствуют ли данные против основной гипотезы в пользу альтернативы?
- Практическая значимость: имеет ли изменение практическую (прикладную) ценность?

# Осьминог Пауль

Проверка  
гипотез



# Проверка гипотез

## Осьминог Пауль

- Гипотеза – Пауль просто осьминог
- Альтернатива – Пауль обладает предсказательной супер-способностью
- Успех – верно предсказанный исход матча
- Статистика – количество верно предсказанных матчей

# Проверка гипотез

Верно спрогнозировал исход 11  
матчей из 13!

| Соперник   | Турнир    | Этап              | Прогноз Пауля | Итог |         |
|------------|-----------|-------------------|---------------|------|---------|
| Польша     | Евро 2008 | Групповая стадия  | Германия      | 2:0  | верно   |
| Хорватия   | Евро 2008 | Групповая стадия  | Германия      | 1:2  | неверно |
| Австрия    | Евро 2008 | Групповая стадия  | Германия      | 1:0  | верно   |
| Португалия | Евро 2008 | 1/4 финала        | Германия      | 3:2  | верно   |
| Турция     | Евро 2008 | Полуфинал         | Германия      | 3:2  | верно   |
| Испания    | Евро 2008 | Финал             | Германия      | 0:1  | неверно |
| Австралия  | ЧМ 2010   | Групповая стадия  | Германия      | 4:0  | верно   |
| Сербия     | ЧМ 2010   | Групповая стадия  | Сербия        | 0:1  | верно   |
| Гана       | ЧМ 2010   | Групповая стадия  | Германия      | 1:0  | верно   |
| Англия     | ЧМ 2010   | 1/8 финала        | Германия      | 4:1  | верно   |
| Аргентина  | ЧМ 2010   | 1/4 финала        | Германия      | 4:0  | верно   |
| Испания    | ЧМ 2010   | Полуфинал         | Испания       | 0:1  | верно   |
| Уругвай    | ЧМ 2010   | Матч за 3-е место | Германия      | 3:2  | верно   |

# Проверка гипотез

## Осьминог Пауль

- Результат – отклоняем  $H_0$  с уверенностью 95%
- Вывод – Пауль не просто осьминог

# Проверка гипотез

## Осьминог Пауль

- Результат – отклоняем  $H_0$  с уверенностью 95%
- Вывод – Пауль не просто осьминог
- Но на самом деле Пауль просто осьминог =(

# Дизайн эксперимента

## Что если значимости нет?

- Отсутствие практической и статистической значимости – отклоняем гипотезу
- Наличие практической значимости и отсутствие статистической – продолжаем тестирования
- Отсутствие практической значимости и наличие статистической – принимаем гипотезу, не внедряем изменение
- Наличие практической и статистической значимости – принимаем гипотезу

# Дизайн эксперимента

## Пример

- Новый дизайн сайта, нет статистической значимости – не внедряем
- Новое лекарство от болезни Альцгеймера, есть практическая значимость и нет статистической – продолжаем эксперимент
- Новая диета для похудения, нет практической значимости и есть статистическая - отказываемся от применения
- Новый алгоритм построение рекомендаций, есть практическая и статистическая значимость – внедряем

# Чек-лист по работе с DS проектами

## 1. Постановка задач и оценка эффекта

- Нуждается ли сервис в оптимизации (на основе данных)?
- Соответствует ли математическая постановка продуктовой/бизнес задаче?

## 2. Метрики и критерии качества

- Как метрика качества модели связана с экономическим эффектом? Каковы ограничения на качество?
- Учитывает ли метрика качества продуктовые требования и др. ограничения, накладываемые на модель?

## 3. Обучение моделей

- Будут ли данные, используемые для обучения модели, доступны в production?
- Соответствует ли сложность модели её качеству?

## 4. Тестирование моделей

- Соответствует ли дизайн тестирования сценарию применения модели?
- Верные ли выводы сделаны по результатам тестирования?

# Программа курса

Курс состоит из **3х** блоков:

1. **Базовые** концепции машинного обучения
2. **Алгоритмы** машинного обучения
3. **Прикладное** машинное обучение

# Базовые концепции машинного обучения

1. Виды обучения, виды задач, базовые концепции
2. Простые алгоритмы: логика построения и связь с математикой
3. Оценка качества в машинном обучении

**Результат изучения:** разбираетесь в **видах обучения**, понимаете логику работы **базовых алгоритмов**, можете **валидировать модели**

# Алгоритмы машинного обучения

1. Обучение с учителем: линейные модели
2. Обучение с учителем: модели на основе деревьев и композиции
3. Обучение с учителем: нейросетевые модели
4. Обучение без учителя: обзор методов
5. (optional) Рекомендательные системы
6. (chosen option) Обучение с подкреплением

**Результат изучения:** разбираетесь **в деталях методов**, можете **применять на практике**

# Прикладное машинное обучение

1. Предпроектное исследование: от постановки задачи до оценки потенциального эффекта
2. Оптимизация и валидация моделей: качество, стабильность, несмещённость, калибровка, интерпретируемость
3. Инструменты автоматизации экспериментов и деплоя моделей. + чек-лист data scientista: классические ошибки при работе над проектами и минимизация рисков

**Результат изучения:** можете **работать в индустрии** под руководством старшего специалиста

# Машинное обучение: ошибки при работе над проектами

Спасибо!  
Эмели Драль