



**НОРНИКЕЛЬ**

# Система оперативного анализа процесса обогащения на основе алгоритмов машинного зрения

Результаты и перспективы развития



**STATANLY**  
**technologies**

11.12.2020

ООО «СТАТАНЛИ ТЕХНОЛОДЖИС»

Биржевая линия, 16, 214, Санкт-Петербург, Россия

<https://statanly.com/>

- Постановка задачи
- Схема решения
- Модули системы
- Подготовка данных - описание того, какие есть пузыри, что именно мы определяем
- Подготовка данных - как работает
- Выделение контуров - что делает
- Выделение контуров - как работает, картинки
- Выделение контуров - как обучалась модель
- Трекинг пузырей - что делает, картинки
- Трекинг пузырей - как работает
- Подсчет площади - что делает, картинки
- Подсчет площади - как работает
- Оценка цветности - что делает, картинки
- Другие подходы
- Общие выводы
- Перспективы
- Команда

ПАО ГКМ «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ» — одна из ведущих российских горно-металлургических компаний. Следуя важнейшему приоритету компании — постоянному улучшению качества сервиса и оптимизации ресурсов, компания постоянно использует возможность современных технологий анализа данных и искусственного интеллекта с целью улучшения качества и оптимизации различных процессов компании.

## Направления работ:

Октябрь - ноябрь 2020 г.  
Пилотный проект:  
Разработка системы  
оперативного анализа  
процесса обогащения

Ноябрь- декабрь 2020 г.  
Получены первые  
результаты, проведена  
оценка точности  
реализованных моделей

2021 г.  
Полноценный  
программный комплекс—  
система оптимизации  
процесса обогащения

# Постановка задачи

---

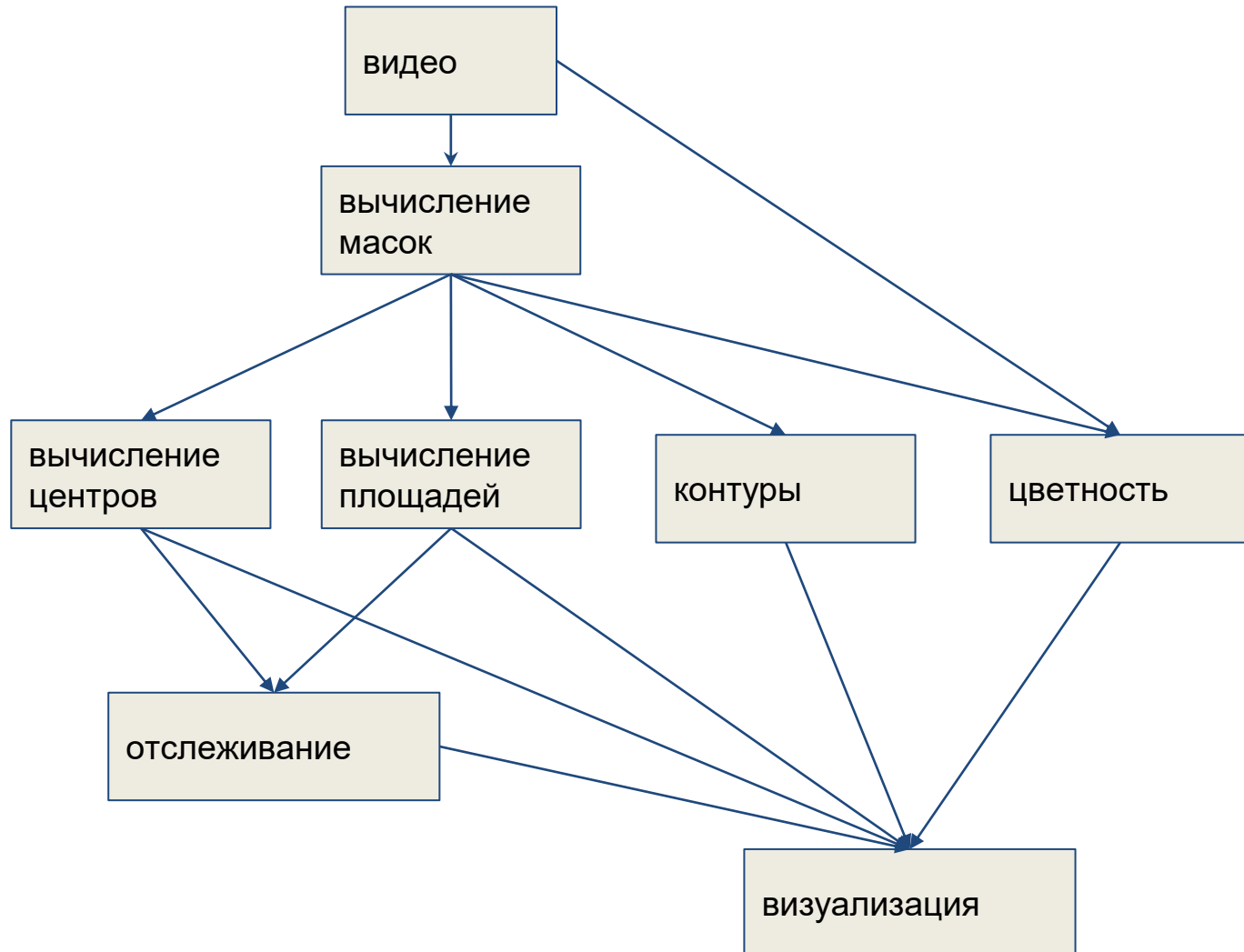


На основании предоставленных Заказчиком информационных материалов, которые должны быть в формате, описанном в разделе “Требования к данным” Исполнитель обязуется оказать услуги по созданию программного обеспечения «Система оперативного анализа процесса обогащения на основе алгоритмов машинного зрения».

В качестве входных параметров системы используется видеопоток/видеофайл/набор фотографий с таймкодами, результат будет сформирован в виде распределения пузырьковых образований по размерам, форме, скорости движения, времени жизни и другим признакам, окончательный список которых будет определен на этапе формирования технического задания. Кроме того, будут определены рекомендации по оптимальному качеству и fps (частоте) видеоматериалов, для построения управляющих моделей на следующем этапе проекта.

Информационные Материалы предоставляются в виде ссылки на архив в формате «.zip» на электронные адреса Ответственных лиц Исполнитель, с помощью электронного носителя или любого иного способа передачи информации.

# Работа алгоритмов



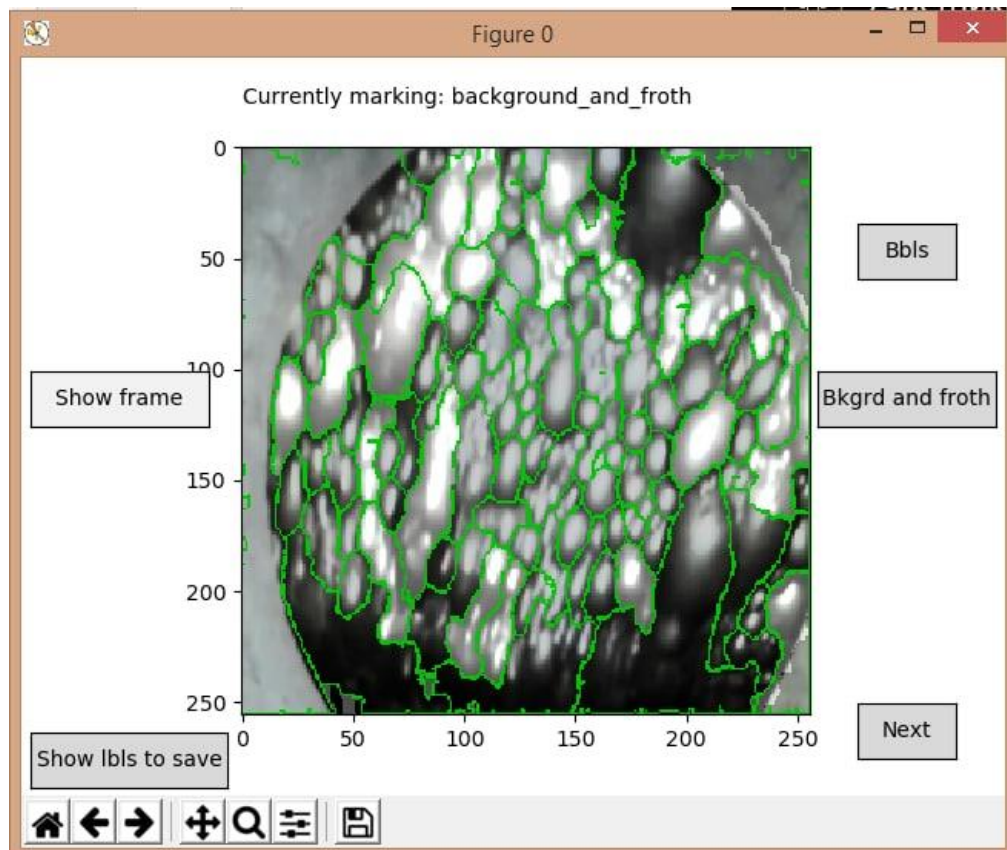
В рамках проекта были реализованы следующие модули системы анализа процесса обогащения:

- Модуль подготовки видео
  - Преобразует сырые данные, полученные с камер на флотационных машинах, в данные, пригодные для распознавания контуров пузырей
- Модуль для распознавания контуров пузырей
- Модуль для отслеживания и подсчета площадей пузырей пены
- Модуль для отслеживания изменений цветности пены

- Для обучения модели был подготовлен новый набор данных, ранее не известный разработчику.
- Для проведения разметки был написан программный код предоставляющий пользовательский интерфейс для разметки кадра с использованием контуров, выделенных алгоритмом водораздела. Было размечено порядка 300 изображений, собранных из разных видео, записанных на разных камерах, отображающих различные типы флотационной пены. Выборка расширена с помощью аугментации.

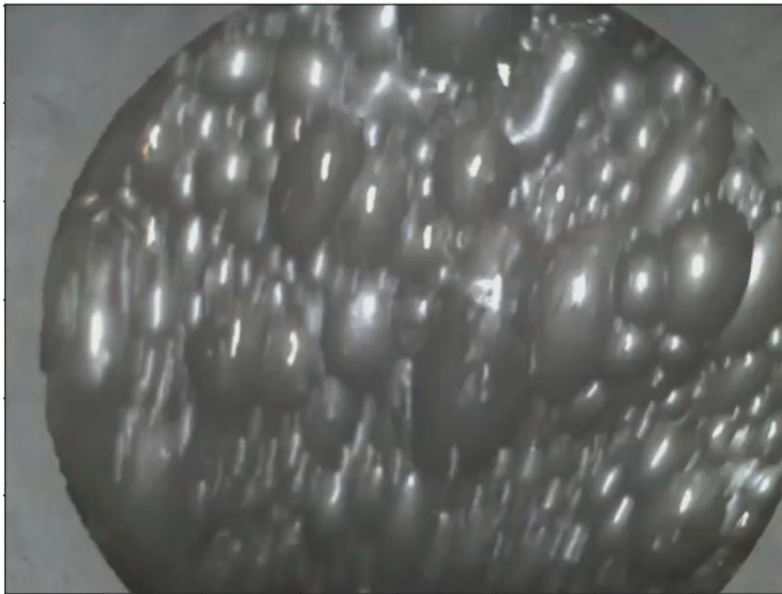
# Подготовка данных 2

- разметка данных на пена / ненужные данные





В процессе анализа предоставленных данных, были обнаружены следующие особенности, влияющие на конечные результаты

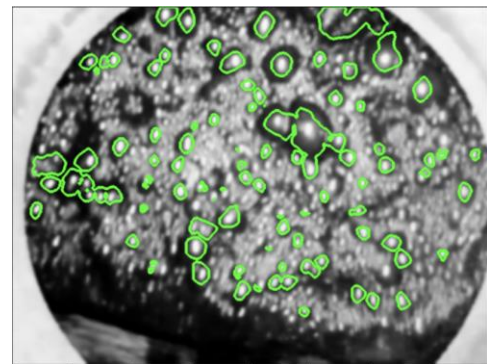
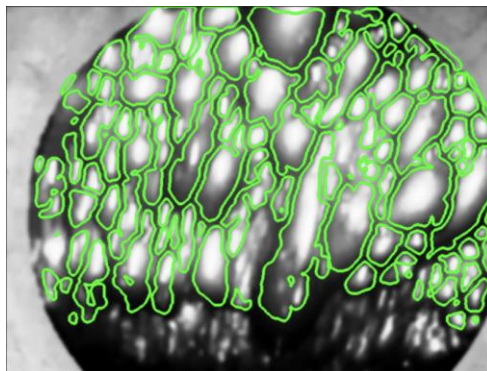
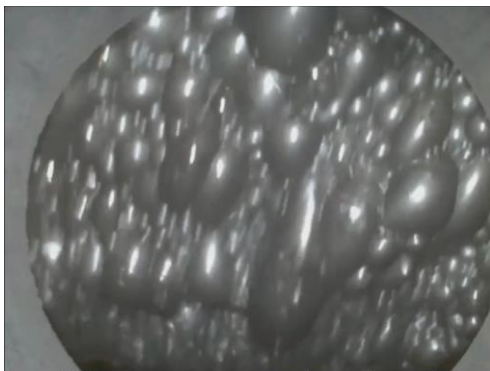


кадр с крупной пеной



кадр с мелкой пеной

# Выделение контуров 1



исходное изображение

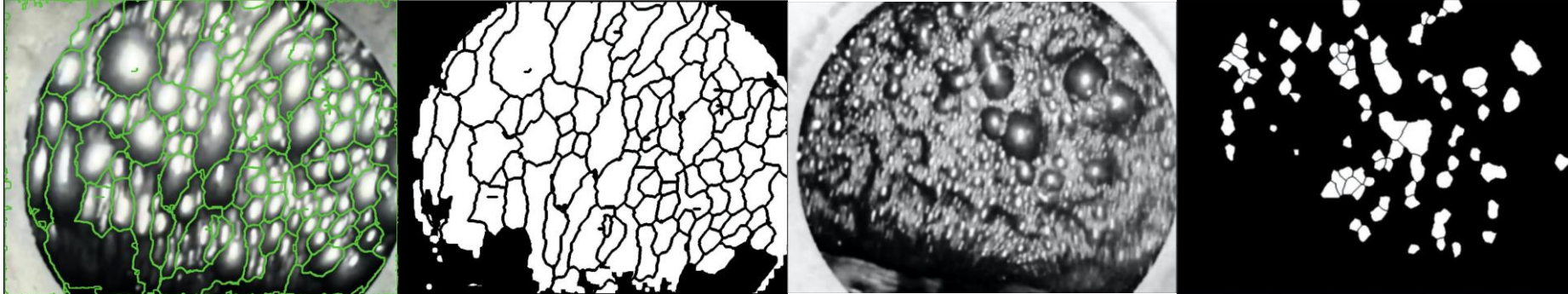
вычисленные контуры

сегментационные  
карты:

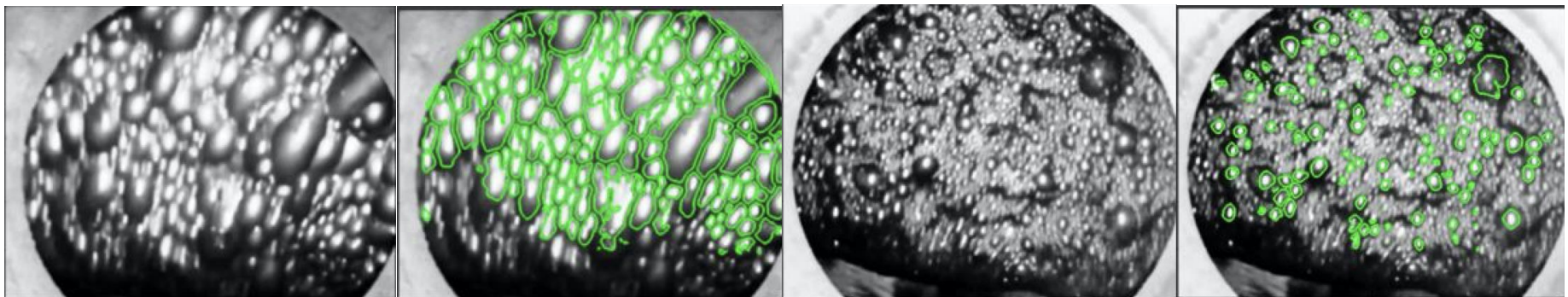
- для построения размеров
- для отслеживания
- для оценки цветности именно пузырей

# Выделение контуров 2

Шаг 1: создание обучающей выборки с помощью метода водораздела



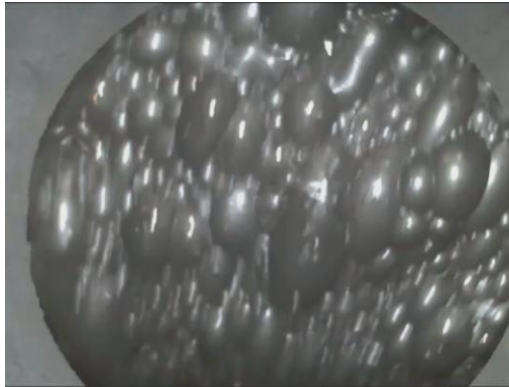
Шаг 2: обучение нейронной сети U-net для детекции только крупной пены



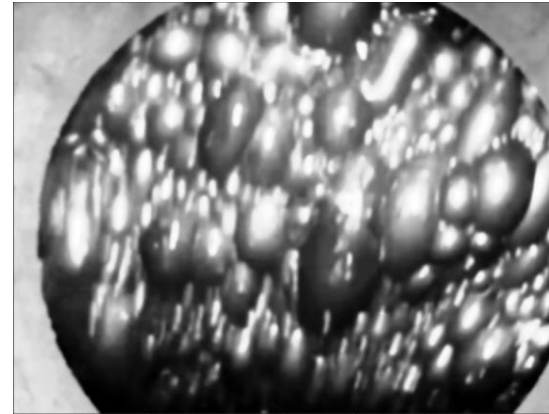
# Выделение контуров 3



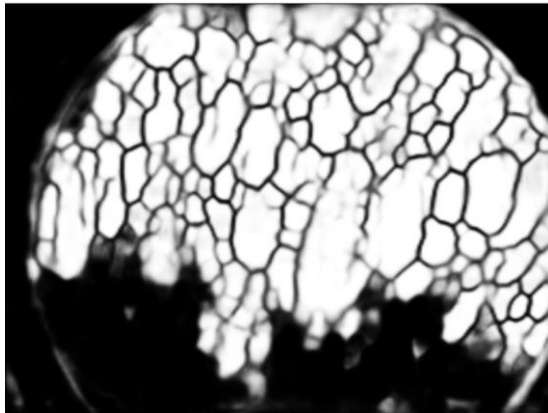
STATANLY  
technologies



исходное изображение



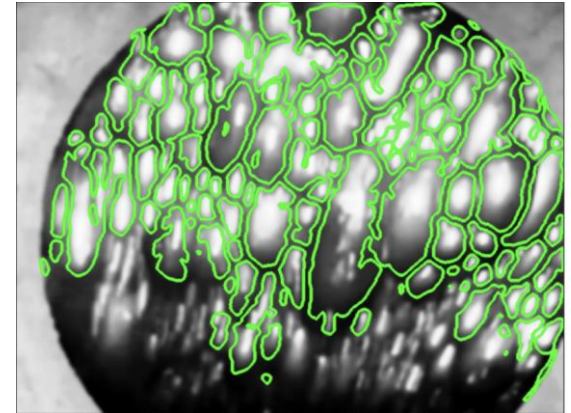
предобработанное  
изображение



вычисленная маска



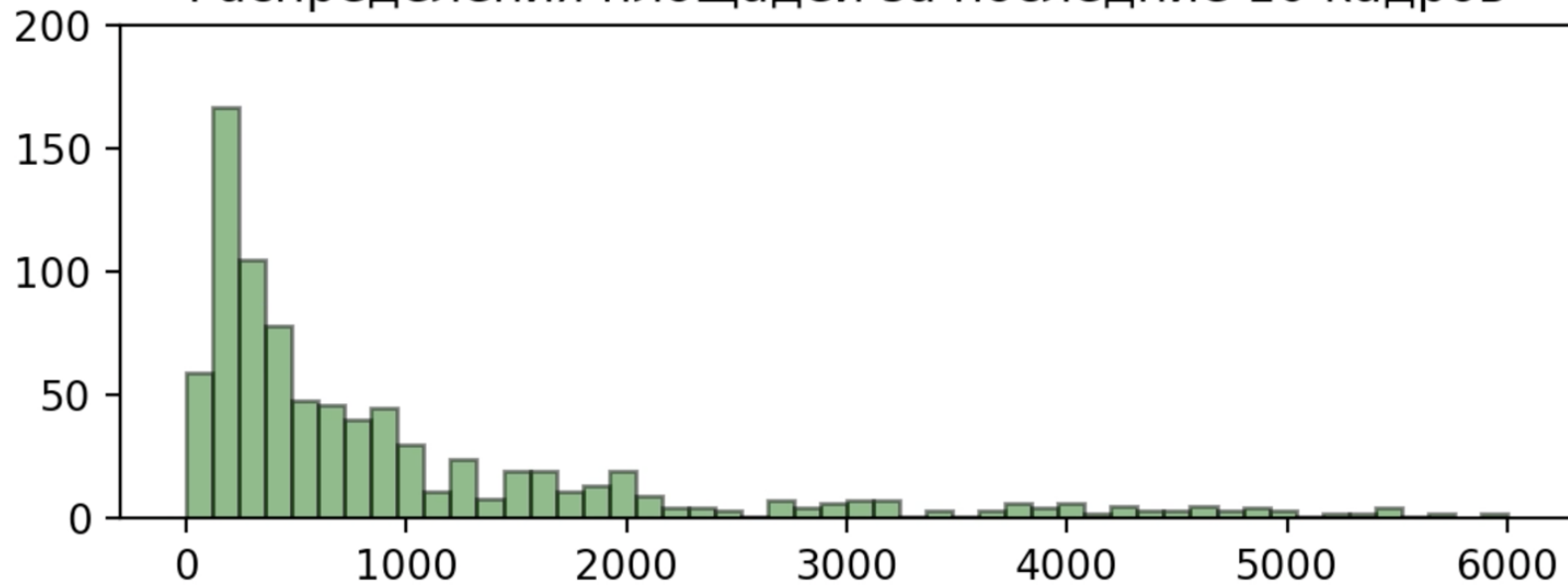
обработанная маска



наложение контуров

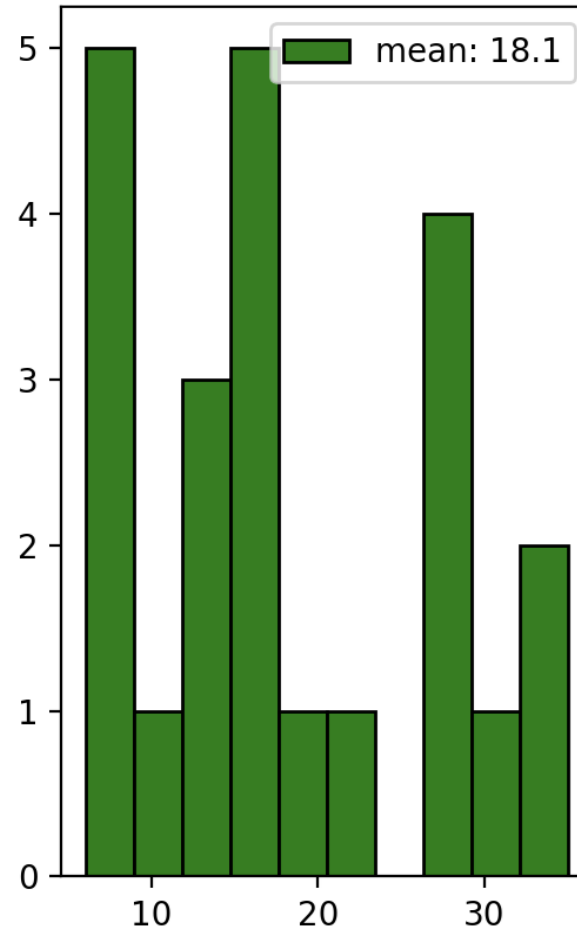
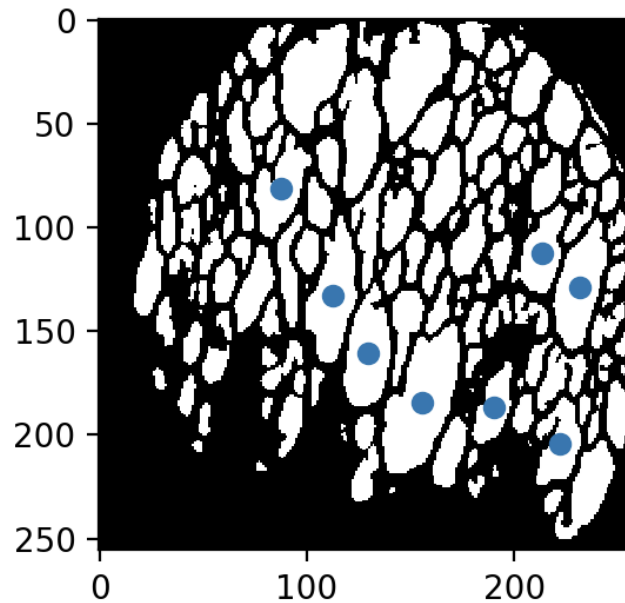
- Подсчет площади происходит алгоритмом поиска в ширину по бинаризованным сегментационным картам
- Подсчет центров пузырей осуществляется путем вычисления их центров масс
- Расстояние между пузырями зависит от их площади, координат центров и некоторых гиперпараметров
- Трекинг осуществляется путем нахождения ближайших пузырей со следующего кадра относительно функции расстояния между пузырями
- Если минимальное расстояние для конкретного пузыря больше трешхолда – считаем, что он прекратил существование

Распределения площадей за последние 10 кадров

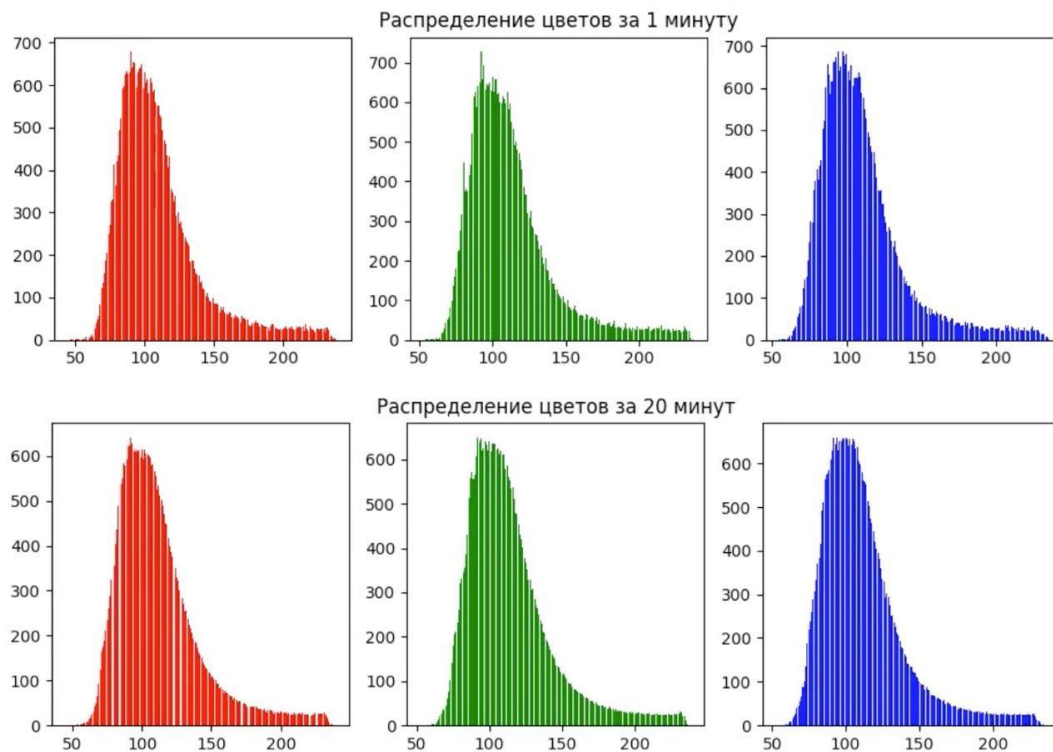


# Трекинг пузырей

Вр. жизни, умершие в последние 10 кад



- Алгоритм осуществляет покадровый замер цветности, обновляя на основе полученных данных статистику по последней минуте и последним  $k$  минутам видео. Параметр  $k$  задаётся при запуске обработчика.





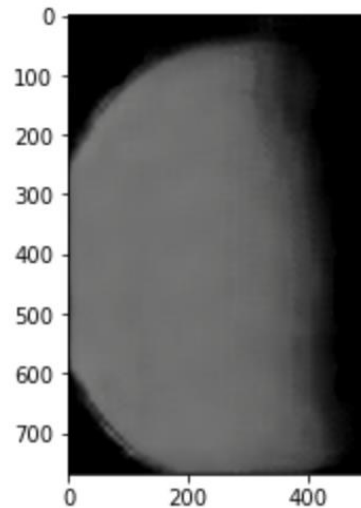
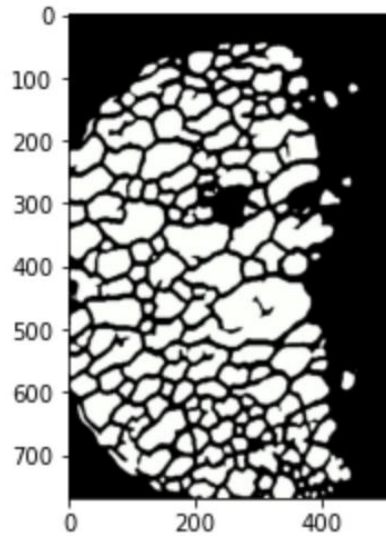
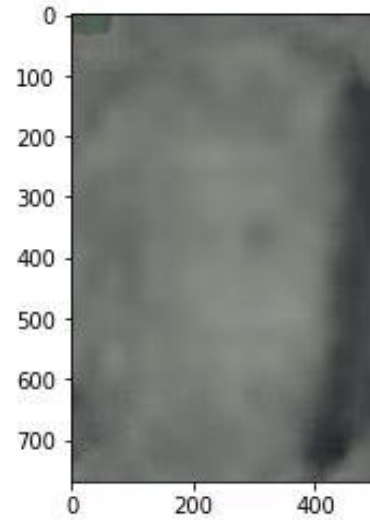


- Обучались как на сырых видео, так и на сегментационных картах
- Были реализованы следующие архитектуры:
  - Классические автоэнкодеры
  - VAE
  - BetaH-VAE
  - BetaB-VAE
- На сырых видео автокодировщики не пытаются восстанавливать детали, а лишь примерно восстанавливают цвета
- На сегментационных картах они ориентированы на выучивание именно деталей, но не способны дать хорошей ошибки реконструкции (миним.  $MSE=0.16$ )

# Другие подходы (автоэнкодеры)



STATANLY  
technologies



- Разработана программная библиотека для подготовки, анализа и обработки данных с камер
- Размечен датасет для обучения моделей на видео с разными типами пены.
- Разработаны алгоритмы детекции пузырей и контуров.
- Разработаны алгоритмы отслеживания пузырей, оценки их площади. Также реализована оценка цветности пены по пузырям.

\* Весь программный код, скомпилированные библиотеки и полная документация по работе с ними передается заказчику в полном объеме и может быть использована для дальнейшей разработки и построения полноценной прогнозной системы

Разработанная модель позволяет для различных типов пены выделять следующие параметры

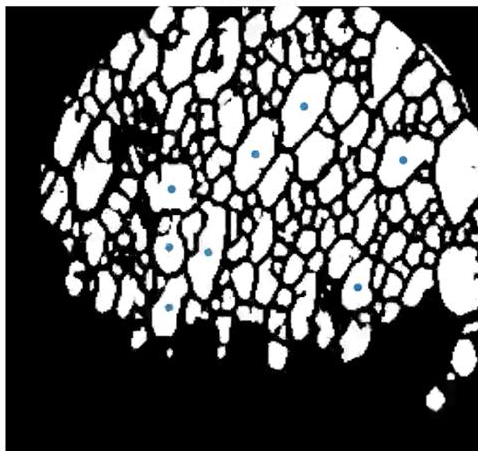
- Выделение пузырей, пригодных для последующего анализа, с детекцией их контуров
- Детекция и трекинг пузырей в кадре, используемые для оценки времени жизни пузырей в пене
- Подсчёт площадей пузырей
- Вычисление статистики распределения интенсивности цветов на выделенных пузырях

# Результаты

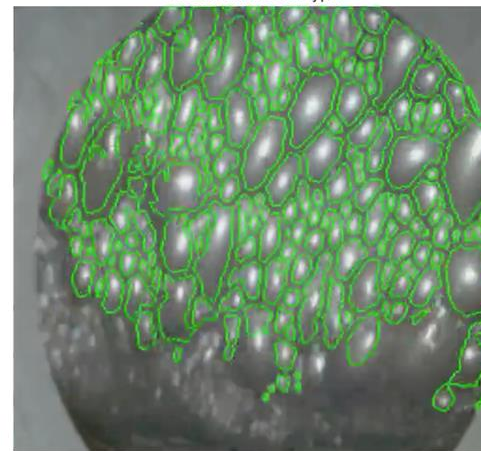
Исходное изображение



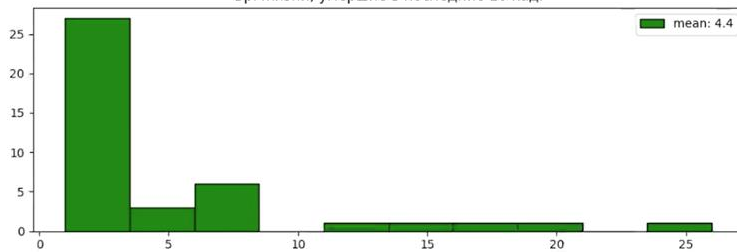
Отслеживание



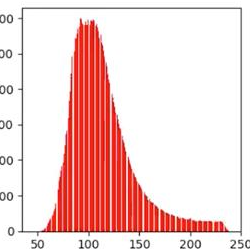
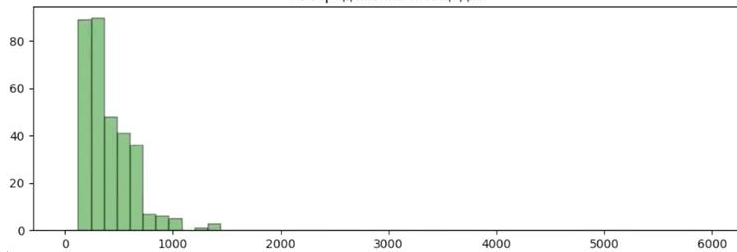
Рассчитанные контуры



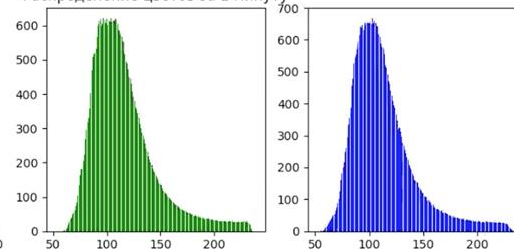
Вр. жизни, умершие в последние 10 кад.



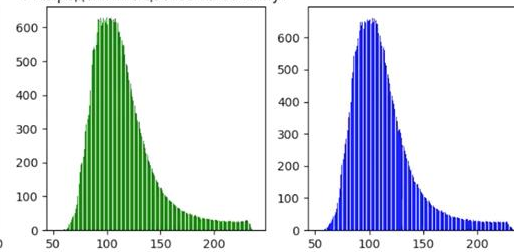
Распределения площадей



Распределение цветов за 1 минуту



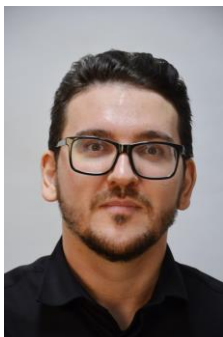
Распределение цветов за 20 минут



- Изучение практики использования алгоритмов на производстве для определения дальнейших способов оптимизации метрического представления пены
- Улучшение качества алгоритмов
- Система оптимизации процесса обогащения на базе реализованных на первом этапе алгоритмов

~ 3-5 месяца

# Участники проекта



**Андрей Фильченков**

СТО Statanly Technologies,  
к. ф.-м. наук, руководитель лаборатории машинного  
обучения Университета ИТМО  
Руководитель проекта



**Егор Крашенинников**

Специалист в области анализа данных и  
машинного обучения,  
ML-Разработчик



**Мария Румянцева**

Специалист в области анализа  
данных и машинного обучения,  
ML-Разработчик



**Сергей Федоров**

Менеджер проекта



**Максим Каширин**

Специалист в области анализа  
данных и машинного обучения,  
ML-Разработчик



**НОРНИКЕЛЬ**

# Система оперативного анализа процесса обогащения на основе алгоритмов машинного зрения

Результаты и перспективы развития



**STATANLY**  
**technologies**

11.12.2020

ООО «СТАТАНЛИ ТЕХНОЛОДЖИС»

Биржевая линия, 16, 214, Санкт-Петербург, Россия

<https://statanly.com/>