



Контроль транспортировочных конвейеров металлургического производства с использованием систем технического зрения

Ершов Евгений Валентинович,
д.т.н., профессор, директор института информационных технологий,
заведующий кафедрой математического и программного обеспечения ЭВМ
Череповецкого государственного университета

г. Рыбинск,
19 апреля 2024 года



Проблема

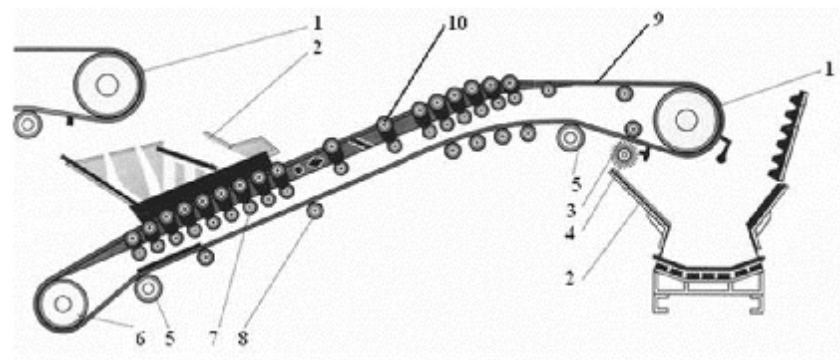
На конвейере домны имеют место следующие проблемы:

- несвоевременное обнаружение дефектов ленты конвейера;
- несвоевременное обнаружение посторонних предметов на ленте конвейера (металлическая арматура, пластиковые бутылки, куски дерева и т. д.);
- несвоевременное определения сыпучего материала на ленте конвейера,

которые могут привести к:

- повреждению оборудования;
- частой остановке конвейера;
- увеличению затрат на ремонт;
- смешиванию сыпучих материалов;
- производству некачественной продукции.

Программно-аппаратный комплекс для контроля транспортировочной ленты в реальном времени с помощью методов и алгоритмов «технического зрения» позволит решить данную проблему.



Материал конвейера

В основном по конвейеру
транспортируется
следующий материал:



Руда



Коксовый уголь



Известняк

Дефекты ленты конвейера

На ленте конвейера во время работы периодически могут образовываться дефекты (повреждения), которые приводят к её выходу из строя при несвоевременном обнаружении.

Они подразделяются на следующие категории:

- продольный порез
- поперечный порез
- износ верхнего слоя



Продольный порез



Поперечный порез с износом верхнего слоя

Посторонние предметы на конвейера

Также, на ленте конвейера периодически могут находиться посторонние предметы следующих типов:



Дерево



Негабарит



Пластик

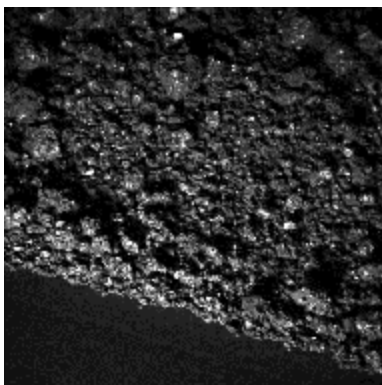
Алгоритмы должны обеспечить автоматизированный контроль транспортировочного конвейера по следующим параметрам:

- периодичность контроля - постоянно;
- определение вида материала (руда, щебеночная смесь, кокс), находящегося на ленте конвейера, с достоверностью не менее 75 %;
- определение посторонних негабаритных предметов на поверхности сыпучего материала и на ленте конвейера в пределах заданного размера диагонали;
- определение дефектов ленты конвейера (продольный порез, поперечный порез) длиной более 1 см;
- определение дефектов ленты конвейера (износ обкладок ленты) площадью более 100 кв. см;
- вывод результатов контроля в виде таблиц, графиков, диаграмм;
- сопоставление результатов контроля вида материала на ленте конвейера с данными АСУ ТП по заполнению бункеров для исключения смешивания подаваемых в доменную печь материалов;
- при возникновении нештатной ситуации предусмотреть вывод аварийного сообщения в АСУ ТП шихтоподачи доменной печи, звуковую сигнализацию на пост управления шихтоподачи доменной печи.

Формирование базы изображений материала

В ходе выполнения работы была собрана база изображений сыпучих материалов

Класс	Количество, шт	Доля, %
Коксовый уголь	1327	38
Руда	967	27
Известняк	1244	35
Всего	3538	100



Коксовый уголь



Известняк



Руда

Формирование базы изображений дефектов ленты

В ходе выполнения работы была собрана база изображений дефектов ленты

Класс	Количество изображений, шт	Доля изображений, %	Количество экземпляров, шт	Доля экземпляров, %
Износ верхнего слоя	124	91	419	95
Продольный порез	1	1	4	2
Поперечный порез	11	8	14	3
Всего	136	100	437	100



Износ верхнего слоя



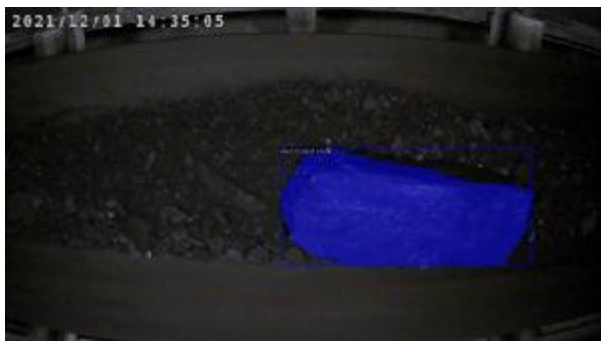
Продольный порез



Поперечный порез

В ходе выполнения работы была собрана база изображений посторонних негабаритных предметов ленты

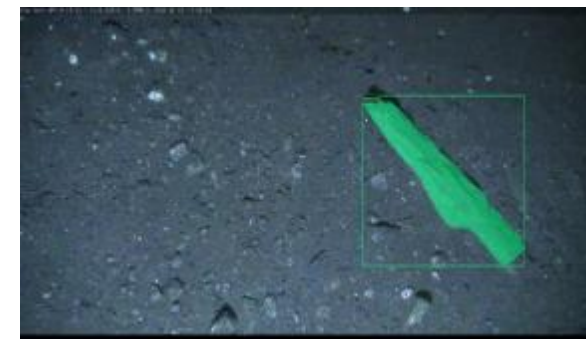
Класс	Количество изображений, шт	Доля изображений, %	Количество экземпляров, шт	Доля экземпляров, %
Пластик	100	24	104	26
Негабарит	200	50	200	48
Дерево	104	26	104	26
Всего	404	100	408	100



Негабарит



Пластик

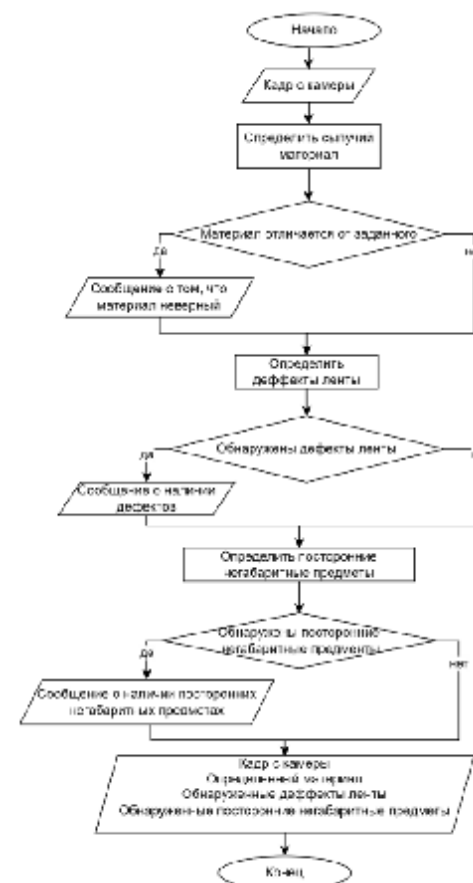


Дерево

Обобщенный алгоритм

Обобщенный алгоритм обработки изображения включает в себя следующие операции:

1. Получить кадр с камеры.
2. Определить сыпучий материал.
3. Если сыпучий материал не совпадает, то сформировать сообщение о том, что сыпучий материал на ленте отличается от того, который должен быть.
4. Определить дефекты ленты.
5. Если обнаружены дефекты ленты, то сформировать сообщение об этом.
6. Определить посторонние негабаритные предметы.
7. Если обнаружены дефекты ленты, то сформировать сообщение об этом.



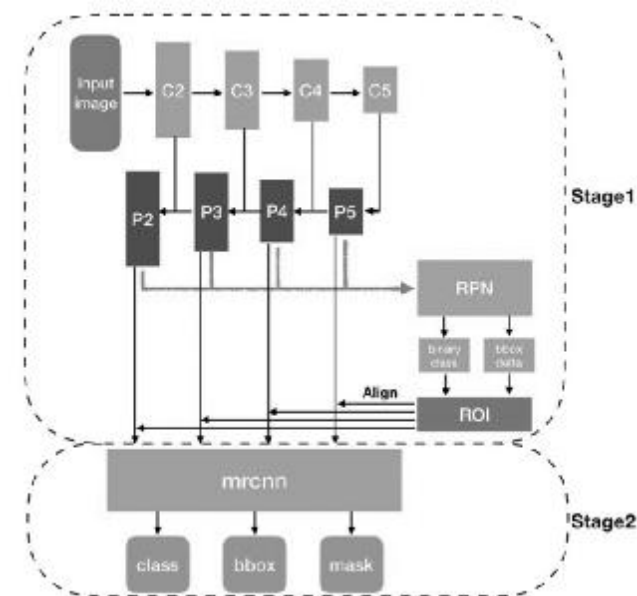
Описание выбранной нейронной сети

Обычно современные задачи компьютерного зрения разделяют на четыре вида:

- Classification (Сыпучие материалы)
- Object detection
- Semantic segmentation
- Instance segmentation (Дефекты ленты, посторонние негабариты)

Основная идея ResNet заключается в использовании «соединений с пропуском» или «соединений-остатков». ResNet предсказывает разность между текущим предсказанием и исходными данными, то есть остаток. Затем этот остаток добавляется к предсказанию на следующем слое.

Сеть с архитектурой Mask R-CNN позволяет выделять на фотографиях контуры («маски») экземпляров разных объектов, даже если таких экземпляров несколько, они имеют различный размер и частично перекрываются.



Обучение нейронной сети

Для обучения выбранных нейронных сетей будет использоваться фреймворк Pytorch.

Для классификации материала будет использоваться ResNet подобная нейронная сеть.

Для обучения нейронной сети Mask R-CNN для определения дефектов ленты и посторонних негабаритов будет использоваться фреймворк Detectron2.

Detectron2 – фреймворк с открытым исходным кодом, использующий Pytorch для работы с нейронными сетями. Внутри он содержит множество реализаций нейронных сетей, в том числе, сегментационную нейронную сеть Mask R-CNN.

Преимуществом данного инструмента является доступный формат данных COCO для разметки, также он содержит конструкции для обучения, валидации, тестирования и инференса нейронных сетей.



Тестирование алгоритмов

Для проверки качества определения класса материала использовался критерий Ассигасу – доля правильных ответов алгоритма. Для того, чтобы адекватно оценить работоспособность нейронной сети был применен расчет анализа критерия Average precision для определения точности сегментации и определения границ.

Анализируя результаты тестирования нейронной сети определения сыпучих материалов, можно сделать вывод о том, что точность определения типа сыпучего материала более 85 %.

Анализируя результаты тестирования нейронной сети по определению дефектов ленты, можно сделать вывод о том, что более 87 % дефектов определяются верно, а точность определения площади дефектов составляет 73 %.

Анализируя результаты тестирования нейронной сети по определению посторонних негабаритных предметов, можно сделать вывод о том, что более 85 % посторонних негабаритных предметов определяются верно, а точность определения площади постороннего негабарита составляет 72 %.

Результат тестирования алгоритмов определения сыпучих материалов:

Критерий	Значение
Accuracy	0.86

Результат тестирования алгоритмов определения алгоритмов определения дефектов ленты:

Критерий	Пороговое значение IoU	Значение
AP	100	0.731
AP75	75	0.815
AP50	50	0.856
Accuracy	-	0.87

Результат тестирования алгоритмов определения посторонних негабаритных предметов:

Критерий	Пороговое значение IoU	Значение
AP	100	0.712
AP75	75	0.730
AP50	50	0.760
Accuracy	-	0.871

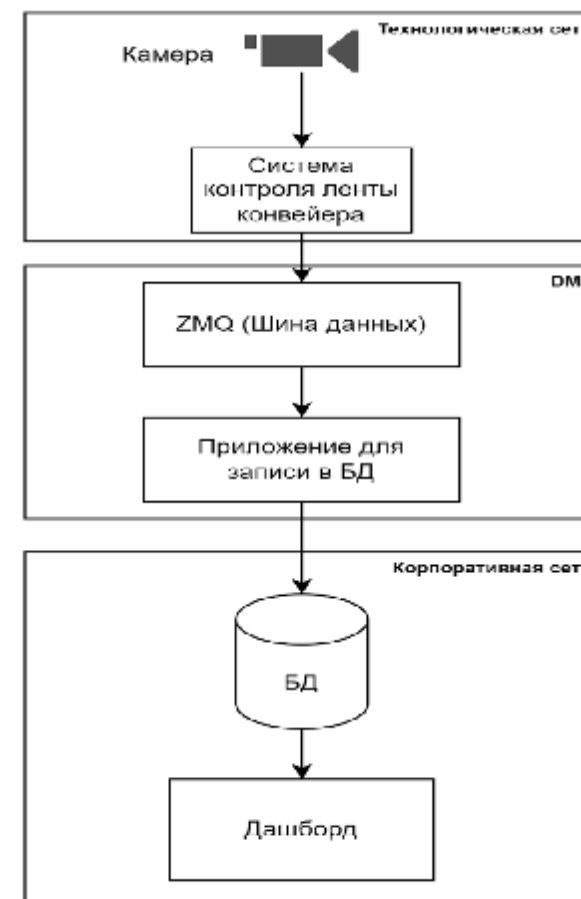
Проектирование системы

Функциональная схема опто-электронной системы контроля транспортировочного конвейера (далее - система контроля).

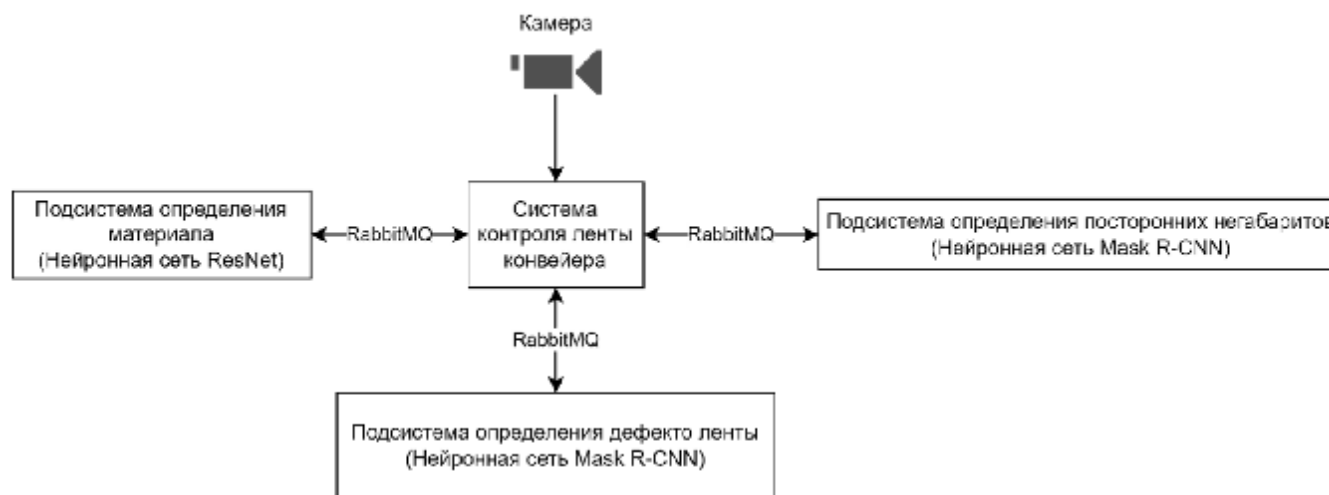
Для получения изображения используется камера HIKROBOT MV-CH250-90GM/GC/GN, расположенная над лентой конвейера. Телекамера системы контроля конвейера находится в технологической сети.

Сервер шины данных ZMQ и приложение для записи в базу данных находятся в DMZ (сегмент сети, содержащий общедоступные сервисы и отделяющий их от частных).

База данных и дашборд для визуального представления данных в реальном времени находятся в корпоративной сети



Структурная схема системы



Система контроля транспортировочного конвейера содержит три подсистемы:

- Подсистема определения типа сыпучего материала
- Подсистема определения дефектов ленты
- Подсистема определения посторонних негабаритных предметов

Три подсистемы связаны между собой с помощью RabbitMQ.

Результаты работы



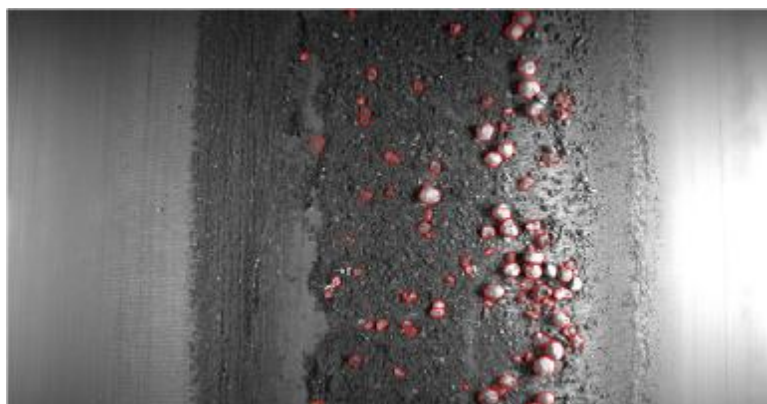
Определение материала руды



Определение материала угля



Определение материала известняка

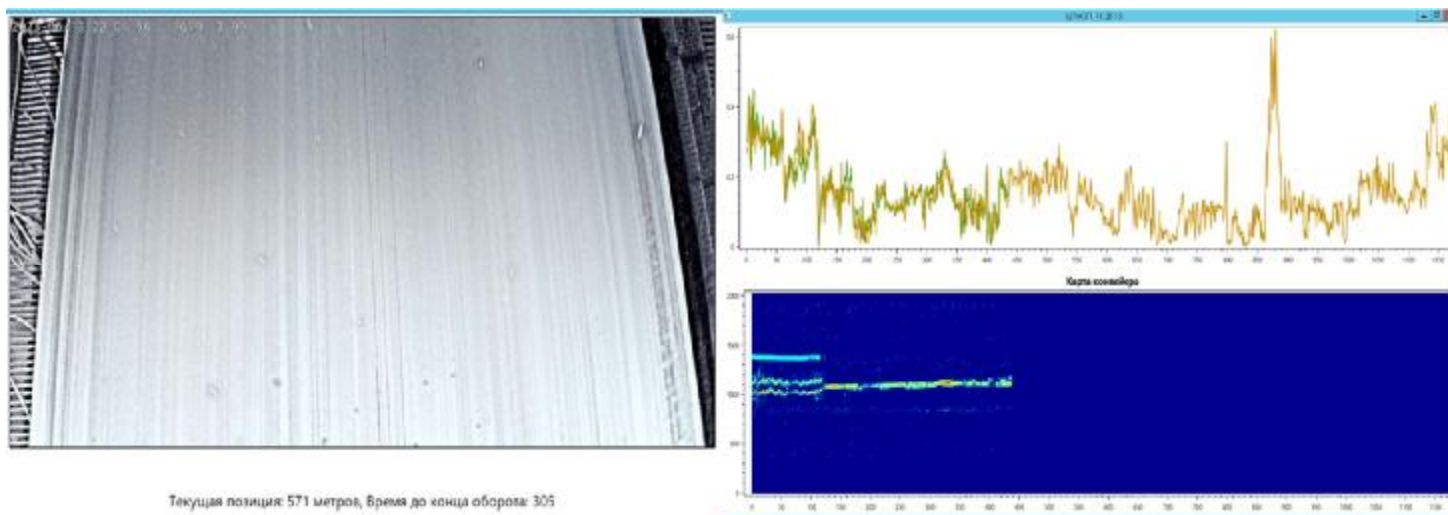


Работа в реальном времени с системой определения гранулометрического состава

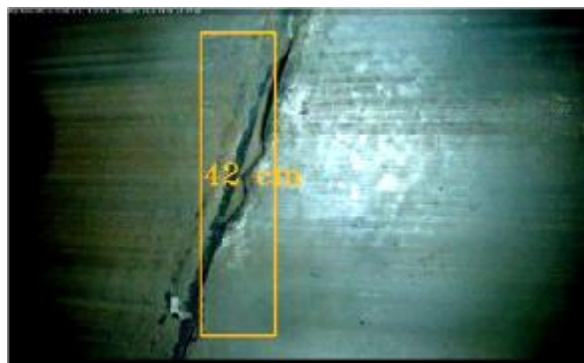
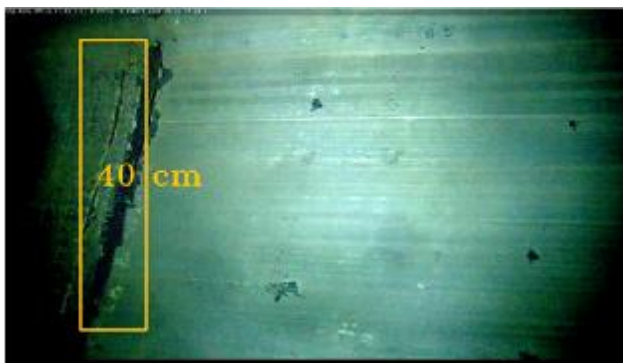
Результаты работы

Для подсистемы определения дефектов ленты был создан дашборд на котором расположены следующие элементы:

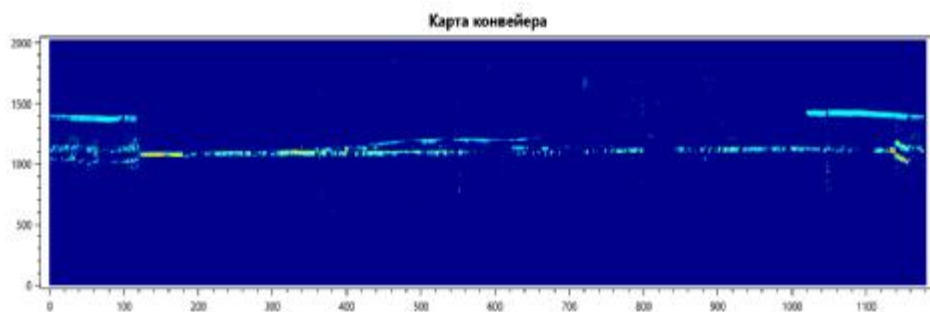
- Текущее изображение ленты конвейера
- График износа конвейера (показывает степень износа от 0 до 1 по времени)
- Карта конвейера (показывает состояние конвейера в определенном месте в указанное время)



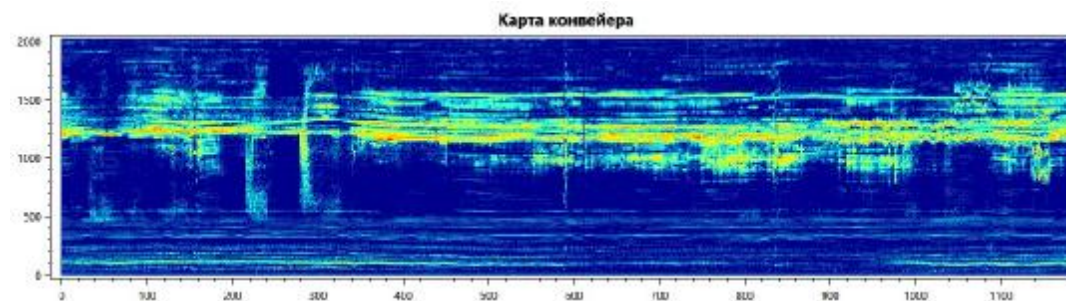
Результаты работы



Определение порезов на ленте и расчет их размеров



Карта конвейера с малым содержанием дефектов

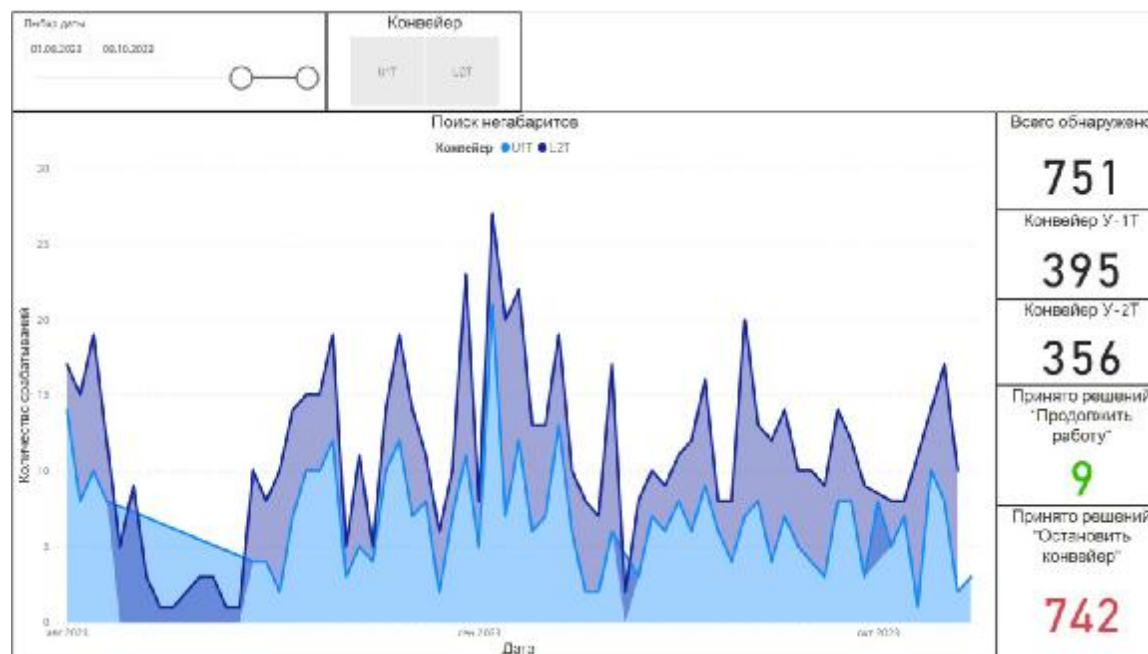


Карта конвейера с большим содержанием дефектов

Результаты работы

Для подсистемы определения посторонних негабаритных предметов был создан дашборд, на котором расположены следующие элементы:

- График обнаруженных посторонних негабаритных предметов
- Статистика по конвейерам
- Статистика по принятым решениям «Остановить конвейер»



Результаты работы



Обнаружение негабарита 1



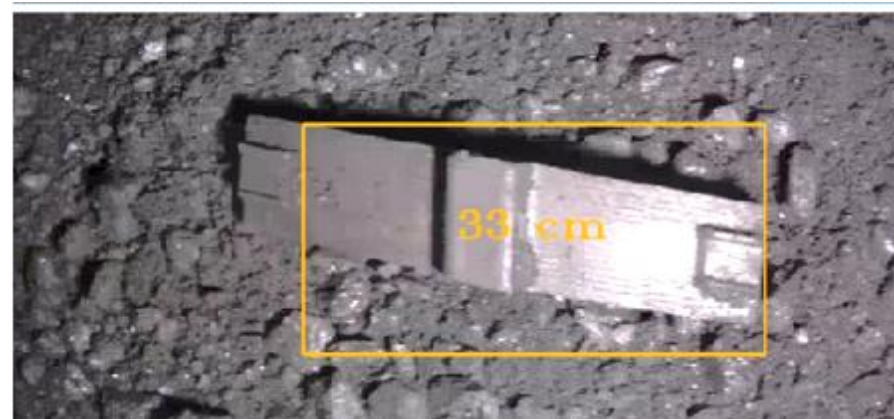
Обнаружение негабарита 2



Обнаружение негабарита 3



Обнаружение негабарита 4



Обнаружение дерева