

УДК 004.93.12

Субботин В. В,
Аспирант МГТУ Им.Г.И. Носова

Субботин В. В,
Г.И. Носов атындағы Москва мамлекеттік
техникалық университетинин аспиранты.

Subbotin V.V,
Postgraduate student of the Moscow
State Technical University named after G.I. Nosov

БЕНЧМАРКИНГ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАНИЯ ВИДОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ПРИЕМКИ

МЕТАЛЛ СЫНЫКТАРЫН КАБЫЛ АЛУУ ПРОЦЕССИНДЕ ТААНУУ ҮЧҮН МАШИНАНЫ ҚӨРҮҮ СИСТЕМАЛАРЫН САЛЫШТЫРУУ

BENCHMARKING OF MACHINE VISION SYSTEMS FOR RECOGNIZING TYPES OF SCRAP METAL DURING ITS ACCEPTANCE

Аннотация. Процесс приемки и подготовки металлического лома является первостепенным на этапе электросталеплавильного производства металлургического предприятия. Приемка лома является нетривиальной задачей и в большинстве случаев носит экспертный характер, от которой зависит качество подготовленного сырья. Для унификации принятия экспертных решений и исключения человеческого фактора возникает необходимость в создании автоматизированных систем, решающих задачу распознавания различных классов металлического лома. В данной работе представлен сравнительный обзор внедренных систем на основных металлургических площадках РФ.

Ключевые слова: производство стали, переработка металлического лома, компьютерное зрение, машинное обучение, металлургическая отрасль.

Аннотациясы. Металл сындыктарын кабыл алудук жана даярдоо процесси металлургиялық ишикананын электр-эритеңүү өндүрүшү этабында биринчи орунда турат. Сыныктарды кабыл алудук тривиалдык эмес милдет болуп саналат жана көпчүлүк учурларда эксперттик мүнөзгө ээ, ага даярдалган чишки заттын сапаты көз каранды болот. Эксперттик чечимдерди кабыл алудуну унификациялоо жана адам факторуң жокко чыгаруу үчүн металл сындыктарынын ар кандай класстарын таануу милдетин чечүүчүү автоматташтырылган системаларды түзүү зарылчылыгы келип чыгат. Бул кагаз Кыргыз Республикасынын негизги металлургиялық участокторунда ишке ашырылган системалардын салыштырмалуу баяндама берет.

Ачкыч сөздөр: болот өндүрүү, металл сындыктарын кайра иштетүү, компьютердик көрүү, машиналарды уйрөнүү, металлургия тармагы.

Annotation. *The process of acceptance and preparation of scrap metal is paramount at the stage of the electric steelmaking production of a metallurgical enterprise. Scrap acceptance is a non-trivial task and in most cases is of an expert nature, on which the quality of the prepared raw materials depends. In order to unify expert decision-making and eliminate the human factor, it becomes necessary to create automated systems that solve the problem of recognizing various classes of scrap metal. This paper presents a comparative overview of the implemented systems at the main metallurgical sites of the Russian Federation.*

Keywords: steel production, scrap metal processing, computer vision, machine learning, metallurgical industry.

Введение.

Создание системы распознавания видом металлического лома необходима для обеспечения объективных условий приемки лома, усовершенствования претензионный работы с поставщиками лома, минимизации влияния человека на процессы приемки и оценки качества принимаемого лома. Внедряемая система является также дополнительным инструментом повышения эффективности исполнения бизнес-процессов на участках приемки лома.

В состав системы при реализации в реальных условиях должны входить следующие функции:

- оцифровка технологических процессов разгрузки лома из вагонов;
- автоматизированная фото/видеофиксация процессов распознавания номеров вагонов, распознавания вида лома и процессов разгрузки вагонов;
- позиционирование вагонов (кранов);
- формирование реестра, входящего ж.д. состава;
- уровень автоматического распознания лома не менее 90%.

Стоит отметить, что на участках приемки лома существуют несколько способов разгрузки вагонов, которые на прямую зависят от места и условий выгрузки металлического лома. Так, например, при поставке лома в вагонах в основном разгрузка осуществляется мостовыми кранами, как на открытых, так и на закрытых площадках. В качестве навесного оборудования мостовые краны оснащены грузозахватным устройством (ГЗУ) электромагнитом или захватом (полип-грейфер) [1]. Наиболее эффективной работой крана является наличие сразу двух ГЗУ на одном мостовом кране и сочетает в себе либо два электромагнита, либо один электромагнит и один захват. Разгрузка поступающего лома в автотранспорте на большинстве предприятиях выполняется на открытых складах мобильными перегружателями металлом (МПМ). Одним из достоинства МПМ является быстродействие в выполнение операций разгрузки за счет своей компактности и мобильности в передвижении на производственных площадках, что в свою очередь позволяет проводить технологические операции более эффективно. Кроме того, МПМ могут работать с различными видами лома от низкосортного до крупногабаритного и не требуют оснащения места разгрузки специализированным помещением и инфраструктурой.

Анализ технических решений систем распознавания лома на металлургических предприятиях

С целью повышения показателей работы системы, анализа и выработки направлений улучшения системы, поиска апробированных технических решений по системам машинного зрения проведен бенчмаркинг подобных систем на предприятиях РФ. С целью соблюдения ФЗ «О коммерческой тайне» в данной работе скрыты истинные названия металлургических предприятий и присвоены следующие псевдонимы:

- Российский электрометаллургический завод «A»
- Металлургическое предприятие «B»

- Производственное предприятие «С»
- Металлургический завод «D»
- Металлургический комбинат «E»

В процессе обследования участков приемки и сортировки металлического лома были получены сведения о работе систем распознавания в целом и в частности реализованных следующих подсистем:

- фото/видеофиксации процесса разгрузки транспортных средств, которая позволяет формировать архив для ведения претензионной работы с поставщиками [2];
- машинного зрения распознавания классов ломов с определением номеров вагонов, автомашин, которая обеспечивает вывод информации о процентном содержании классов лома с привязкой к номеру разгружаемого вагона или автомашины [3];
- оснащения средствами фото/видео фиксации мобильных перегружателей металлического лома, которая делает возможным получать фото/видео данные о процессе разгрузки автомашин с металлическим ломом;
- показателям, достигнутым на предприятиях в результате создания подобных систем, что является результатом работы каждой подсистемы. **Российский электрометаллургический завод «A».**

С 2011г реализован проект распознавания классов лома в ж.д. вагонах.

Условия проекта:

- закрытый склад,
- стационарное размещение фото/видеокамер,
- ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один),
 ограничения по количеству классов лома на складе (не более трех), способ разгрузки – только мостовые краны.

В настоящий момент система внедрена и находится в промышленной эксплуатации.

Металлургическое предприятие «B».

Проект реализован в 2020-2024гг.

Условия проекта:

- закрытый склад,
- стационарное размещение фото/видеокамер,
- ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один),
 ограничения по количеству классов лома на складе (не более трех),
- выгрузка вагонов в заданном порядке на стационарном парковочном месте.

В настоящий момент система внедрена и находится в промышленной эксплуатации.

Производственное предприятие «C».

С 2017г поэтапное создание и ввод в эксплуатацию системы в копровом цехе; на начало 2024г реализована полнофункциональная система видеонаблюдения и фотофиксации процесса разгрузки транспортных средств мостовыми кранами и мобильными перегружателями на открытых площадках.

Особенности проекта:

- открытый склад.
- стационарное размещение фото/видеокамер на площадках разгрузки,
- оснащение всех транспортных средств камерами видео\фото фиксации,
- ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один),
- ограничения по количеству классов лома на складе (не более трех),

В процессе эксплуатации и обучения системы не удалось достичь приемлемой сходимости результатов работы системы и «ручной» приемки, поэтому было принято решение продолжить проект только с системой фото/видеофиксации, но без инструментов видеоаналитики.

Металлургический завод «D».

В 2025 реализована система распознавания классов лома в вагоне. В настоящий момент система внедрена и находится в промышленной эксплуатации. Особенности проекта:

- закрытый склад,
- стационарное размещение фото/видеокамер,
- ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один),
- ограничения по количеству классов лома на складе (не более пяти),
- способ разгрузки – только мостовые краны,
- выгрузка вагонов в заданном порядке на стационарном парковочном месте.

Таким образом, на всех обследованных предприятиях имеются схожие условия работы систем распознавания и приемки лома:

- закрытый склад (открытый склад только на предприятиях «C» и «E»);
- стационарное размещение фото/видеокамер на площадке разгрузки;
- ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один),
- ограничения по количеству классов лома на складе (от 3 до 5),
- последовательная выгрузка лома только одного вагона на стационарном парковочном месте.

Ниже приведена сравнительная таблица условий работы систем распознавания и приемки лома на обследованных предприятиях. Как очевидно из таблицы при создании системы распознавания важно соблюдение требование компьютерного зрения так, например, отмечено, что на открытых складах отсутствует возможность стационарного размещения камер на колоннаде, также присутствуют внешние факторы, влияющие на работу модели распознавания: погодные условия присущие каждому сезону (дождь, туман, снег).

Наименование предприятия	Условия работы систем распознавания и приемки лома					
	Тип склада	Место размещения камеры	Требования к поставщику лома	Требования к составу и количеству классов лома на складе	Требования к проведению разгрузочных операций	Наличие стационарного места разгрузки лома
Российский электрометаллургический завод «A»	Закрытый склад	Стационарное размещение фото/видео камер на площадке разгрузки	Ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один)	Ограничения по количеству классов лома на складе (от 3 до 5)	Последовательная выгрузка лома только одного вагона	Выгрузка вагона на стационарном парковочном месте

Металлургическое предприятие «B»	Закрытый склад	Стационарное размещение фото/видео камер на площадке разгрузки	Ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один)	Ограничения по количеству классов лома на складе (от 3 до 5)	Последовательная выгрузка лома только одного вагона	Выгрузка вагона на стационарном парковочном месте
Производственное предприятие «C»	Открытый склад	Отсутствие возможности стационарного размещения камер	Ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один)	Ограничения по количеству классов лома на складе (от 3 до 5)	Последовательная выгрузка лома только одного вагона	Выгрузка вагона на стационарном парковочном месте
			один)			
Металлургический завод «D»	Закрытый склад	Стационарное размещение фото/видео камер на площадке разгрузки	Ограничение для поставщика по наличию классов лома в вагоне (только один)	Ограничения по количеству классов лома на складе (от 3 до 5)	Последовательная выгрузка лома только одного вагона	Выгрузка вагона на стационарном парковочном месте
Металлургический комбинат «E»	Открытый склад	Отсутствие возможности стационарного размещения камер	Допустимое количество классов лома в вагоне не более 3х; Классы лома 2А1 и 3А1 близки по геометрическим размерам; Геометрическая неоднородность лома в пределах одного класса лома	Допускается до 20 классов лома на складах участка приемки лома	Отсутствие четкой последовательности выгрузки вагонов	Отсутствие строго определенного места выгрузки вагона

Реализация системы распознавания классов лома может быть успешной при наличии аналогичных условий, как на большинстве изученных предприятий России («А», «В», «С», «Д»). В текущих условиях участка приемки металлического лома металлургического комбината «Е» реализация полноценной системы будет иметь ограничения по достижению результатов и их качества. Реальным шагом для изменения бизнес-процесса является введение дополнительных требований к поставщику металлического лома, а именно жесткое ограничение по наличию исключительно одного класса лома в вагоне.

В ходе обследования систем распознавания, определены типичные проблемы:

- 1) необходимость ручной разметки для каждого класса лома методом сегментации или классификации, что влечет за собой привлечение дополнительных ресурсов;
- 2) наличие большого количества классов лома в вагоне; отсутствие возможности стационарного размещения камер, удовлетворяющих требованиям компьютерного зрения;
- 3) влияние внешних факторов на создание изображения.

Также актуальными на текущий день остаются задачи, решение которых в рамках работы систем распознавания видов лома являются нерешенными:

- динамическое переобучение модели машинного обучения из наличия первой вышеуказанной проблемы;
- возможность создания синтетического набора датасета на основе математической модели распределения кусков сыпучего материала.

Решение указанных задач позволит для условий работы скрапных отделений металлургических предприятий исключить субъективный человеческий фактор при распределении лома различных в совках перед его загрузкой в сталеплавильные агрегаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анализ классификации мостовых кранов применяемых на производстве / А. А. Польшин, Т.А. Рыжих, М.Л. Жучков, А.А. Тихонов // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ ИМ. В.Г. Шухова. – Белгород, 30 апреля – 20 мая 2021 года, 2021. – С. 2234-2239.
2. Семенец, А.Н. Системы видеонаблюдения. Виды и применение / Н. А. Семенец, А.Н. Войтова // Инновационное развитие предпринимательской деятельности региона. – Брянск, 23 января 2020 года, 2020. – С. 104-109.
3. Субботин, В.В. Структура “системы – советчик” загрузки совков металлическим ломом / В.В. Субботин, С.М. Андреев, Е.А. Панова // Современные достижения университетских научных школ: Сборник докладов национальной научной школы конференции, Магнитогорск, 25–26 ноября 2024 / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2024. – С. 37-42.

