

УДК 669.1

РАСЧЕТ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ СТАЛЬНОГО МЕТАЛЛОЛОМА В СОВКАХ ДЛЯ СКРАПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕХМЕРНОЙ КАМЕРЫ

Е. Н. ИШМЕТЬЕВ, Д. В. ЧИСТЯКОВ, А. Н. ПАНОВ, Е. Э. БОДРОВ, Д. В. РАБАДЖИ*

В настоящее время кислородно-конвертерный процесс является одним из самых распространенных процессов производства стали. Зачастую в качестве охладителя в нем используется стальной металлолом. Это обусловлено тем, что химически чистый металлолом обладает высокими технологическими характеристиками, а также является отходом производства, требующим вторичной переработки. Одним из важных технологических параметров стального металлолома, используемого в конвертерном процессе, является его насыпная плотность. От этого параметра зависит как выход готовой продукции, так и технологическая стабильность конвертерного процесса. Поэтому насыпную плотность металлолома в совках для скрапа перед его загрузкой в конвертер необходимо контролировать. Насыпная плотность может быть рассчитана, используя данные об объеме металлолома в совке и его массе. Нахождение массы металлолома не вызывает трудностей в связи с тем, что кислородно-конвертерный цех оборудован специализированными весами для взвешивания совков с металлоломом. Получение объема металлолома, загруженного в совок, является более сложной задачей. Для ее решения специалистами компании ЗАО «КонсОМ СКС» в кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» были проведены эксперименты по измерению объема металлолома с использованием 3D-камеры с time-of-flight-сенсором. Данное оборудование позволяет измерить расстояние от самой камеры до поверхности металлолома, которое затем может быть использовано для расчета высоты поверхности металлолома над дном совка, представляющим собой поверхность, расстояние до которой от камеры также известно. В данной работе приводится расчет объема стального лома в совке для скрапа, используя полученные при эксперименте значения расстояний от камеры до поверхности металлолома. Сравнение различных значений объема для измерений, сделанных для одного совка с металлоломом в различные моменты времени, показало, что ошибка, вызванная неточностью измерения 3D-камерой, не превышает 5 %. Полученные значения объема в последующем могут быть использованы для расчета насыпной плотности стального металлолома.

Ключевые слова: металлургическая промышленность, печи, измерение объема, 3D-камера, металлолом, насыпная плотность, кислородный конвертер.

Введение

В настоящее время кислородно-конвертерный процесс является одним из основных сталеплавильных процессов. Большую часть шихты при выплавке стали в конвертере составляет жидкий чугун. Для процесса выплавки он также служит источником физического и химического тепла. В качестве охладителя в процессе конвертерной плавки в основном используется стальной металлолом [1]. Это обусловлено не только его высокими технологическими характеристиками, но и тем фактом, что металлолом представляет собой отходы произ-

водства, образующиеся на предприятиях, а также устаревшее оборудование, подлежащее замене.

Насыпная плотность стального лома является важным технологическим параметром, от которого зависит технологическая стабильность конвертерного процесса и выход готовой стали. Например, при использовании негабаритного стального лома с малой насыпной плотностью, несмотря на то, что массовая доля лома в шихте составляет всего 20–25 %, объем, занимаемый им в конвертере, больше, чем объем, занимаемый жидким чугуном. При этом образование слоя из охладителя над ванной расплава приводит к интенсификации процесса окисления железа из состава металлошихты в начальный момент плавки. Это приводит к испарению железа из зоны реакции в виде пыли, снижая выход готового жидкого металла и ухудшая экологическую обстановку [2].

Известно, что именно качественные характеристики материалов-охладителей, их физико-химические свойства, способ загрузки и характер распределения в рабочем объеме сталеплавильного агрегата в значительной степени определяют

* ЗАО «КонсОМ СКС», Магнитогорск, Россия; докт. техн. наук Е. Н. Ишметьев, директор по стратегическому развитию; эл. почта: fortheartist@mail.ru; канд. соц. наук Д. В. Чистяков, исполнительный директор; канд. техн. наук А. Н. Панов, доцент, начальник отдела инновационных разработок; ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия; канд. техн. наук Е. Э. Бодров, доцент кафедры ЭиМЭ; ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия; Д. В. Рабаджи, главный металлург ККЦ

© Ишметьев Е. Н., Чистяков Д. В., Панов А. Н., Бодров Е. Э., Рабаджи Д. В., 2017

ход конвертерной плавки, ее технико-экономические показатели, качество готового металла и степень воздействия на экосистему [3].

Насыпная плотность металлического лома может варьироваться в довольно широких пределах. Значение насыпной плотности влияет на технологический процесс выплавки стали в конвертере. Следовательно, необходимо контролировать значение плотности металлолома перед его загрузкой в конвертер.

Постановка задачи

Насыпная плотность может быть рассчитана по информации об объеме и массе стального лома в совках, служащих для его загрузки в конвертер. Конвертерный цех оборудован специализированными весами, снабжающими персонал цеха информацией о массе загружаемого металлолома. Однако оборудования для нахождения объема металлолома в цехах нет.

В связи с этим возникла необходимость в проведении научно-исследовательской работы с целью проверки возможности измерения трехмерных размеров объектов. В рамках данной работы была поставлена задача поиска объема стального металлолома, загруженного в сорок для скрапа. Существуют различные способы измерения геометрических размеров и объема объекта [4–15]. В рамках данной работы для этой цели была использована трехмерная камера ОЗМ-150 производства компании ifm [16].

Объектами измерения являлись совки для перевозки металлолома в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). Для осуществления проекта в ККЦ над местом останковки совков для лома смонтировали камеру ОЗМ-150, произвели ее позиционирование и настройку. Для выполнения поставленной задачи была обеспечена программная реализация функционала считывания данных с камеры и распознавание трехмерных размеров образов находящегося в совке металлолома. В последующем для расчета плотности лома необходимо обеспечить считывание из автоматизированной системы управления (АСУ) цеха величины массы металлолома в совке и номера совка.

Основные цели проведения данной научно-исследовательской работы следующие:

- испытание камеры ОЗМ-150 в реальных условиях: тестирование заявленного функционала, режимов работы и возможностей в части трехмерных измерений объектов и интегрируемости со смежными системами;

- проработка различных вариантов параметрирования датчика камеры ОЗМ-150 в условиях эксплуатации в цехе;

- поиск оптимальных технических решений для монтажа, наладки и последующей эксплуатации камеры ОЗМ-150 в реальных условиях;

- формирование пространственной трехмерной модели объекта;

- определение возможности расчета объема и разработка алгоритма расчета плотности лома в совке.

Основным элементом камеры ОЗМ-150 является времяпролетный датчик (Time of Flight), выполненный на основе технологии PMD (Photonic Mixer Device), для вывода данных трехмерного изображения. Угол обзора камеры составляет 70×23 град. (горизонталь × вертикаль), разрешение изображения — 64×16 пикселей. Рабочим интерфейсом является Ethernet UDP/IP. Размеры поля зрения камеры и пикселей, в зависимости от диапазона измерения камеры, представлены в табл. 1.

Согласно данным табл. 1, чтобы в область видимости камеры попадал весь сорок целиком, необходимо установить ее на достаточной для этого высоте.

В рамках работы были разработаны тестовые программные модули, реализующие следующие функции:

- преобразование массива данных снимаемой области в пространственную модель (графическую и математическую);

- определение базовых точек и трехмерных размеров объектов.

Функции программных модулей, подлежащих разработке, — это получение массы лома в совке и номера совка; расчет плотности лома в совке.

Проведение промышленного эксперимента

Эксперимент на технологической площадке ККЦ ОАО «ММК» проводили в два этапа. Первый этап был проведен на площадке конвертерного отделения, находящейся на высоте 12 м. Камера ОЗМ-150 была установлена на кронштейне на специально подготовленную для эксперимента подставку и направлена таким образом, чтобы захватить в поле видимости весь сорок. Используемая площадка находится на достаточной высоте, позволяющей провести съемку всего совка.

Камерой ОЗМ-150 были произведены замеры расстояния x_i от плоскости, в которой расположе-

Таблица 1.
Размеры поля зрения и пикселей камеры

Диапазон измерения, м	Размеры поля зрения		Пиксели, см
	Длина, м	Ширина, м	
1	1,40	0,40	2,19 × 2,52
5	7,00	2,02	10,94 × 12,62
10	14,00	4,04	21,88 × 25,24
20	28,00	8,08	43,76 × 50,48
30	42,00	12,12	65,64 × 75,72

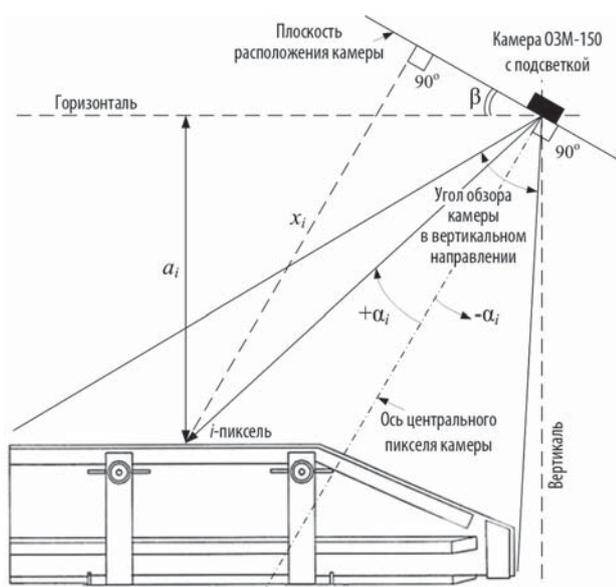


Рис. 1. Экспериментальная установка для измерения объема

на камера, до отдельных пикселей, попадающих на поверхность металлолома в совке (рис. 1).

В ходе эксперимента на отметке 12 м, в воздухе присутствовало значительное количество графитовой пыли. Это обстоятельство оказало негативное влияние на эксперимент и ухудшило результаты измерений. Примерно 20 % пикселей имели нулевые значения. Пыль, находящаяся в воздухе, мешает проведению измерений, оседая также на объектив камеры и устройство подсветки, дополнительно ухудшая видимость. В связи с этим для достижения приемлемых условий функционирования камеры ОЗМ-150 необходимо обеспечить защиту оптики камеры и подсветки, а также постоянный режим

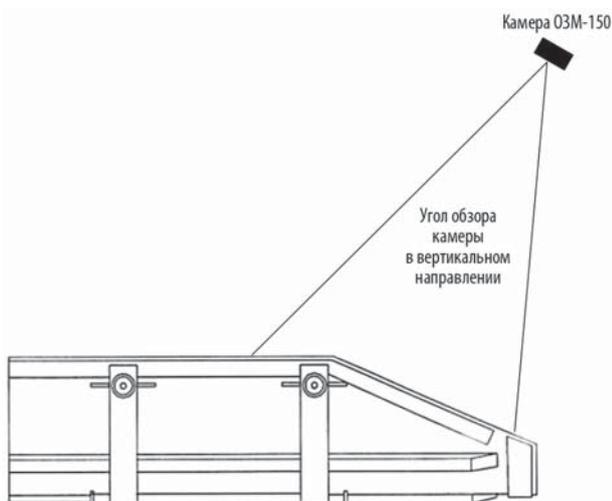


Рис. 2. Часть совка с металлоломом, снятая камерой ОЗМ-150 в ходе повторного эксперимента

обдува с целью удаления загрязнений в виде оседающей пыли.

В связи с этим было принято решение провести повторный эксперимент на площадке в скрапном отделении, находящейся на высоте 9 м. Камера ОЗМ-150 вместе с подсветкой также была установлена на кронштейне на специально подготовленную для эксперимента подставку и направлена вниз на совок. Высота данной площадки оказалась недостаточной, чтобы камера могла захватить в поле видимости весь совок. Поэтому проводилась съемка только части совка (рис. 2).

Как и при первом эксперименте, камерой ОЗМ-150 были произведены замеры расстояния от плоскости, в которой расположена камера, до отдельных пикселей, попадающих на поверхность металлолома в совке.

Результаты математической обработки экспериментальных данных

Пятая часть пикселей, полученных при проведении первого эксперимента, непригодны для расчетов, поэтому математической обработке были подвергнуты данные, полученные при повторном эксперименте. Результатами измерений камеры ОЗМ-150 являются три координаты: x_i , y_i и z_i (x_i — расстояние от плоскости расположения камеры до i -го пикселя (см. рис. 1); y_i и z_i — размеры сторон самого пикселя). Результаты измерений расстояния x_i для полностью загруженного совка, полученные непосредственно с камеры, приведены в табл. 2.

Результаты измерений расстояния x_i были подвергнуты математической обработке, заключающейся в пересчете значений данного расстояния в значения высоты металлолома в совке (см. рис. 1). Это было произведено в два шага: на первом этапе расстояние x_i было преобразовано к более удобному в расчетах расстоянию a_i от горизонтальной плоскости, в которой находится камера, до поверхности металлолома, а на втором — вычислена высота поверхности металлолома от дна совка.

Искомое расстояние a_i рассчитали по следующей зависимости:

$$a_i = \frac{x_i \cdot \cos(\beta + \alpha_i)}{\cos \alpha_i}, \quad (1)$$

где α_i — угол расположения i -го пикселя относительно центральной оси; β — угол наклона камеры к горизонту.

Угол α_i равен нулю на оси центрального пикселя и изменяется от 0 до 35 град. в положительную сторону от центральной оси (к дальнему краю совка) и от 0 до 35 град. в отрицательную сторону от центральной оси (к ближнему краю совка). Значение ± 35 град. получено делением пополам угла обзора

Таблица 2.
Значения расстояний от плоскости камеры до металлолома в совке, измеренные камерой ОЗМ-150

Значение расстояния x_i (м)																																																	
Номера пикселей длинной стороны матрицы																																			Номера пикселей короткой стороны														
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
0	7,39	6,47	6,31	6,11	5,96	6,1	6,08	6,03	5,94	5,7	5,82	5,94	5,98	5,88	5,68	5,66	5,62	5,62	5,62	5,56	5,51	5,49	5,44	5,63	1																								
6,74	6,6	6,49	6,47	6,41	6,32	6,24	6,1	6,08	5,98	5,78	5,85	5,89	5,95	5,81	5,63	5,61	5,64	5,52	5,49	5,5	5,46	5,4	5,4	5,33	2																								
6,91	6,9	6,62	6,43	6,37	6,24	6,27	6,1	5,96	5,98	5,87	5,8	5,72	5,71	5,63	5,59	5,54	5,53	5,49	5,45	5,45	5,41	5,35	5,29	5,25	3																								
6,85	6,8	6,55	6,48	6,25	6,13	6,1	6,1	6	5,92	5,8	5,76	5,66	5,58	5,53	5,56	5,49	5,51	5,46	5,4	5,47	5,4	5,33	5,29	5,18	4																								
6,75	6,49	6,46	6,32	6,33	6,06	6,05	6	5,92	5,76	5,65	5,77	5,63	5,5	5,42	5,41	5,5	5,48	5,38	5,38	5,45	5,38	5,32	5,21	5,16	5																								
6,71	6,49	6,3	6,32	6,19	6,08	5,96	5,87	5,74	5,56	5,5	5,58	5,59	5,49	5,38	5,37	5,41	5,3	5,31	5,4	5,51	5,45	5,26	5,17	5,11	6																								
6,53	6,44	6,33	6,22	6,05	5,92	5,81	5,69	5,52	5,37	5,42	5,48	5,62	5,48	5,39	5,35	5,3	5,27	5,3	5,44	5,51	5,43	5,25	5,23	5,09	7																								
6,49	6,46	6,32	6,05	5,99	5,76	5,74	5,68	5,61	5,52	5,52	5,55	5,5	5,41	5,36	5,35	5,37	5,29	5,27	5,28	5,18	5,08	5,08	5,09	5,06	8																								
6,51	6,41	6,26	6,09	5,92	5,69	5,64	5,68	5,6	5,57	5,6	5,47	5,53	5,43	5,39	5,44	5,55	5,43	5,23	5,11	5	4,97	4,99	5,11	5,11	9																								
6,59	6,41	6,14	5,91	5,76	5,68	5,67	5,65	5,63	5,65	5,74	5,63	5,54	5,47	5,53	5,54	5,44	5,4	5,42	5,25	5,03	5,02	5,06	5,15	5,13	10																								
6,73	6,33	6,03	5,89	5,77	5,69	5,72	5,65	5,61	5,63	5,65	5,57	5,46	5,44	5,47	5,46	5,38	5,44	5,44	5,35	5,21	5,14	5,18	5,26	5,22	11																								
6,64	6,27	5,9	5,79	5,71	5,67	5,74	5,75	5,72	5,7	5,71	5,55	5,44	5,4	5,44	5,47	5,44	5,39	5,35	5,29	5,29	5,23	5,21	5,3	5,26	12																								
6,71	6,27	5,93	5,86	5,71	5,7	5,75	5,85	5,71	5,71	5,66	5,56	5,44	5,46	5,5	5,52	5,44	5,39	5,35	5,3	5,3	5,26	5,2	5,17	5,16	13																								
6,86	6,41	5,98	6,08	5,8	5,6	5,69	5,89	5,82	5,76	5,62	5,55	5,46	5,52	5,6	5,48	5,43	5,43	5,37	5,3	5,29	5,21	5,19	5,14	5,1	14																								
6,94	6,37	6,22	6,26	5,91	5,85	5,85	5,69	5,78	5,79	5,67	5,55	5,48	5,54	5,57	5,51	5,47	5,42	5,37	5,3	5,29	5,27	5,25	5,18	5,14	15																								
6,95	6,55	6,57	6,38	6,15	5,99	6,08	5,94	5,79	5,97	5,8	5,62	5,55	5,55	5,59	5,51	5,49	5,47	5,44	5,41	5,39	5,39	5,35	5,32	5,27	16																								
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	Номера пикселей короткой стороны																								
5,57	5,56	5,41	5,52	5,42	5,4	5,31	5,3	5,3	5,32	5,12	5,05	4,86	4,64	4,65	4,69	4,74	5,03	5,14	5,13	5,13	5,13	5,07	0	5,44	1																								
5,2	5,25	5,22	5,24	5,17	5,14	5,12	5,17	5,16	5,05	4,93	4,82	4,75	4,67	4,59	4,7	4,74	4,87	5,02	5,33	5,2	5,11	5,03	5,08	0	2																								
5,26	5,28	5,2	5,13	5,02	5,11	5,17	5,13	5,03	4,92	4,82	4,75	4,7	4,65	4,64	4,73	4,75	4,78	5,03	5,26	5,21	4,97	4,89	4,83	4,78	3																								
5,36	5,41	5,35	5,32	5,27	5,18	5,09	5	4,96	4,87	4,78	4,69	4,71	4,71	4,71	4,73	4,74	4,89	4,97	5,01	4,92	4,79	4,75	4,74	4,72	4																								
5,26	5,29	5,19	5,19	5,23	5,17	5,01	4,91	4,88	4,76	4,68	4,66	4,68	4,75	4,77	4,78	4,73	4,76	4,7	4,72	4,64	4,61	4,58	4,6	4,6	5																								
5,19	5,27	5,27	5,19	5,07	5	4,84	4,88	4,84	4,74	4,69	4,69	4,71	4,75	4,83	4,81	4,85	4,71	4,58	4,55	4,54	4,54	4,54	4,49	4,39	6																								
5,11	5,12	5,11	5,13	5,16	5,22	5,05	4,94	4,84	4,78	4,77	4,75	4,74	4,74	4,83	4,79	4,83	4,72	4,62	4,55	4,57	4,53	4,48	4,43	4,37	7																								
5,06	5,05	5,08	5,09	5,17	5,39	5,43	5,26	5,02	4,83	4,73	4,83	4,75	4,69	4,62	4,64	4,62	4,59	4,62	4,63	4,57	4,53	4,49	4,42	4,38	8																								
5,06	5,04	5,02	5,05	5,18	5,31	5,31	5,2	5,1	4,97	4,86	4,8	4,72	4,68	4,69	4,63	4,59	4,57	4,63	4,62	4,61	4,51	4,48	4,42	4,37	9																								
5,06	5	4,99	5	5,13	5,12	4,97	4,82	4,7	4,67	4,66	4,72	4,74	4,72	4,69	4,65	4,59	4,57	4,59	4,66	4,6	4,54	4,48	4,44	4,4	10																								
5,05	5	5,01	5,1	5,06	5,05	5,01	4,83	4,65	4,66	4,7	4,72	4,73	4,84	4,72	4,68	4,61	4,63	4,66	4,67	4,62	4,55	4,48	4,45	4,43	11																								
5,07	5,1	5,05	5,11	5,01	4,94	5,03	4,95	4,69	4,65	4,67	4,73	4,83	5,1	4,93	4,86	4,74	4,73	4,71	4,7	4,63	4,59	4,52	4,46	4,45	12																								
5,05	4,98	4,93	4,95	4,9	4,9	4,93	4,84	4,73	4,67	4,66	4,74	4,8	5,08	5,19	4,93	4,83	4,74	4,69	4,65	4,64	4,67	4,58	4,48	4,53	13																								
5,03	5,03	4,97	4,96	4,92	4,92	4,91	4,89	4,73	4,7	4,75	4,74	4,8	5,24	5,14	5,05	4,94	4,83	4,74	4,66	4,67	4,62	4,63	4,62	4,92	14																								
5,09	5,07	5,06	5,02	4,99	5,01	4,99	4,93	4,78	4,67	4,74	4,79	4,84	5,31	5,32	5,09	4,99	4,96	4,84	4,87	4,82	4,74	4,65	4,73	5,67	15																								
5,22	5,15	5,16	5,09	5	5,11	5,14	5	4,76	4,72	4,71	4,76	4,8	5,24	5,3	5,1	5,12	5,06	5,07	5,03	4,95	4,89	4,79	4,82	6,04	16																								

камеры в вертикальном направлении, составляющего 70 град.

Далее, рассчитав усредненное положение дна совка $x_{\text{дна}}$, т. е. расстояние от него до горизонтальной плоскости расположения камеры, можно вычислить значение высоты металлолома $h_{\text{лом},i}$ для

каждого из попадающих на поверхность металлолома пикселей по следующему выражению:

$$h_{\text{лом},i} = x_{\text{дна}} - a_i \tag{2}$$

Описанный выше путь пересчета по выражению (1) расстояний x_i , выдаваемых камерой при

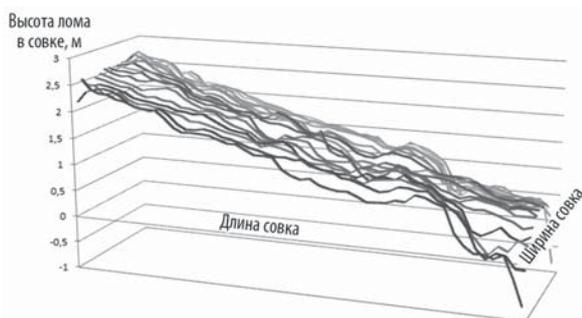


Рис. 3. Рассчитанная высота лома в совке

настройках «по умолчанию», в необходимые для дальнейшего расчета значения a_i , был выбран по двум причинам. Во-первых, используемая в эксперименте трехмерная камера позволяет установить внутренние настройки таким образом, чтобы камера выдавала сразу значения a_i . Для этого необходимо подключиться к камере в режиме программирования и с помощью специализированного программного обеспечения ifm VisionAssistant задать угол наклона камеры к горизонтальной плоскости, взятым со знаком минус. Однако ввиду несовершенства внутреннего алгоритма расчета камеры при этом довольно сильно искажаются значения u_i и z_i , что неизменно приведет к ошибке в расчетах. И во-вторых, отсутствие необходимости программировать угол наклона камеры значительно облегчает монтаж и эксплуатацию системы, так как каждое незначительное изменение угла наклона камеры потребует ее перепрограммирования с привлечением соответствующего специалиста. Работник, выполняющий монтаж камеры, может наклонить ее на необходимый угол, измерить его и записать полученное значение в прикладное программное обеспечение, непосредственно выполняющее расчет объема. Это также облегчает работу оператора с системой.

В результате математической обработки получены значения высоты поверхности лома над дном совка, (рис. 3). Уровень высоты, равный нулю, соответствует вычисленному положению дна совка с учетом его округлости. Отрицательные значения говорят о том, что данный пиксель вышел за границу совка.

Чтобы рассчитать объем металлолома V , нужно просуммировать объемы фигур, подобных параллелепипеду, образованных каждым пикселем, попадающим на поверхность металлолома, путем опускания перпендикуляра к горизонтальной поверхности из вершин пикселя вниз до пересечения с уровнем дна совка. Это было осуществлено по следующему выражению:

$$V = \sum_{i=1}^n h_{\text{лом},i} \cdot y_i \cdot z_i, \quad (3)$$

где n — количество пикселей, попавших в ходе съемки на поверхность металлолома.

В выражении (3) размеры сторон i -го пикселя y_i и z_i , полученные с камеры, используются в неизменном виде.

Объем захваченной камерой части металлолома в совке, рассчитанный по выражению (3), составил 22 м^3 . Соотнесение захваченной и незахваченной частей совка показало, что незахваченная часть совка составляет 1,3 части захваченной. Это соотношение дает коэффициент для пересчета объема в совке, равный 2,3, что позволяет приблизительно вычислить объем всего совка как $22 (\text{м}^3) \times 2,3 = 50,6 \text{ м}^3$. Это значение близко к паспортным данным объема полностью загруженного совка, составляющего 65 м^3 .

Значение массы металлолома, измеренное установленными в ККЦ весами, для рассматриваемого совка составило 84 т. Для расчета искомой насыпной плотности стального металлолома в совке необходимо значение массы разделить на объем металлолома в совке, измеренный трехмерной камерой. Это дает значение насыпной плотности, равное $84000 (\text{кг}) / 50,6 (\text{м}^3) = 1660 \text{ кг/м}^3$, или $1,66 \text{ т/м}^3$.

Полученное значение насыпной плотности находится в допустимом диапазоне средних плотностей стального металлолома, используемого при конвертерном процессе производства стали, который составляет $0,8-2 \text{ т/м}^3$. Данные средние значения насыпной плотности определяются технологическими требованиями быстрого достижения заданной температуры нагрева в печи и одновременным стремлением не увеличить при этом время завалки металлолома в конвертер.

Обсуждение результатов

Точность измерения использованного при эксперименте оборудования ограничена шумом измерений. Основными источниками шумов являются: дробовой, тепловой, перезапуска, обратно пропорциональный частоте, фазовое дрожание, а также шум квантования [17]. Поэтому для проверки повторяемости результата было произведено несколько замеров для каждого совка.

Повторение расчетов для семи снимков того же совка, полученных в разные моменты времени, показало, что ошибка, связанная с разбросом значений, вызываемым погрешностью измерений, не превышает 5%. Таким образом, можно утверждать, что с помощью трехмерной камеры как ОЗМ-150 можно измерить объем металлолома в совке.

Недостатком используемой при повторном эксперименте площадки является недостаточная высота подъема камеры ОЗМ-150 над совком, не позволяющая захватить в поле видимости камеры

весь совок. Рассчитанная необходимая высота камеры должна быть не менее 10 м над уровнем земли и, соответственно, 8 м над уровнем дна совка (для технологических условий ККЦ ОАО «ММК»).

Заключение

В результате проведенного промышленного эксперимента и выполненных расчетов объема металлолома в совке был сделан вывод об успешности эксперимента. При обеспечении достаточной высоты установки трехмерной камеры над совком, а также защиты оптики и проведения обдува камеры для ее очистки объем металлолома в совке возможно измерить с высокой точностью. Ошибка, вносимая измерительной системой самой камеры, не превышает 5 %. Для расчета объема металлолома в каждом из совков необходимо стационарно установить над ним трехмерную камеру, подобную ОЗМ-150, по одной камере на каждый совок. Использование приведенных в работе математических выражений при вычислении объема металлолома облегчает настройку и эксплуатацию предлагаемой системы ввиду упрощения внутренней настройки самой камеры за счет осуществления задания необходимых параметров (угол наклона камеры к горизонту) в прикладном программном обеспечении. В дальнейшем, при наличии информации о массе металлолома в совке, полученное значение объема стального металлолома может быть использовано для расчета его насыпной плотности в автоматическом режиме.

ЧМ

Библиографический список

1. Колесников Ю. А., Бигеев В. А., Сергеев Д. С. Расчет технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием различных охладителей // *Металлургия стали*. 2014. №2(15). С. 45–48.
2. Макарова Е. А., Перистый М. М. Проблемы конвертерного производства стали и пути решения дефицита металлолома // *Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов / Сб. докл. XXIII Всеукраинской науч. конф. аспирантов и студентов*. — Донецк: ДонНТУ, ДонНУ, 2013. Т. 2. С. 158–159.
3. Шелягович А. В. Разработка режимов формирования металлозавалки в кислородном конвертере с применением композиционных материалов и исследование их влияния на технологические показатели выплавки стали: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2005. — 211 с.
4. Möller T., Kraft H., Frey J., Albrecht M., Lange R. Robust 3D measurement with PMD sensors // *Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH, Zurich, Switzerland, 2005*.
5. Xu Q., Huang Y., Xing L., Tian Z., Fei Z., Zheng L. A fast method to measure the volume of a large cavity // *IEEE Access*, 2015. P. 1555–1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661
6. Chincholkar Y. D., Bangadkar S. A Review of ToF PMD Camera // *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. 2015. Vol. 4. Iss. 5. P. 4142–4149. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0405058
7. Патерикин В. И. Оптические методы зондирования для наголовных средств измерения пространственных параметров поверхности трехмерных предметов в реальном времени // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2015. № 2. С. 44–48.
8. Крысин Д. Ю., Небылов А. В. Применение времяпролетных PMD-камер для определения дальности до водной поверхности // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2013. № 2(84). С. 33–39.
9. Рутковский В. О., Рутковская М. А. Метод получения трехмерных цифровых моделей технических объектов, основанный на применении искусственных текстур // *Вестник СибГАУ*. 2010. № 5. С. 249–254.
10. Berkovic G., Shafir E. Optical methods for distance and displacement measurements // *Advances in Optics and Photonics*. 2012. Vol. 4. P. 441–471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441
11. Huddart Y. R. Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines // *Dissertation, Heriot-Watt University, 2010*.
12. Склярченко М. С. Оценка точности методов трекинга для определения 2D-координат и скоростей механических систем по данным цифровой фотосъемки // *Компьютерная оптика*. 2015. № 1. С. 125–135.
13. Борминский С. А., Солнцева А. В., Скворцов Б. В. Метод оптоэлектронного контроля жидкости в резервуаре // *Компьютерная оптика*. 2016. Т. 40. № 4. С. 552–559.
14. Wilczkowiak M., Boyer E., Sturm P. Camera Calibration and 3D Reconstruction from Single Images Using Parallelepipeds // *8th International Conference on Computer Vision (ICCV '01), Vancouver, Canada*. IEEE Computer Society, 2001. Vol. 1, P. 142–148.
15. Criminisi A., Reid I., Zisserman A. Single View Metrology // *University of Oxford, 1999*.
16. ОЗМ150. Фотоэлектрические датчики для распознавания объектов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (дата обращения: 05.05.2016).
17. Luan X. Experimental Investigation of Photonic Mixer Device and Development of TOF 3D Ranging Systems Based on PMD Technology // *Dissertation, University of Siegen, 2001*.

“CHERNYE METALLY”, 2017, № 4, pp. **–**

CALCULATION OF BULK DENSITY OF STEEL SCRAP IN SCRAP CHUTES USING 3D CAMERA

Ishmetyev E. N.¹, Dr. Eng., Director on Strategic Development
 Chistyakov D. V.¹, Cand. Soc., Executive Director
 Panov A. N.¹, Cand. Eng., Ass. Prof., Head of Dept. of Innovations
 Bodrov E. E.², Cand. Eng., Ass. Prof., Chair of Electronics and
 Microelectronics, e-mail: forheartist@mail.ru
 Rabadzhi D. V.³, Prof

¹ “KonsOM SKS” JSC (Magnitogorsk, Russia)

² Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russia)

³ Magnitogorsk Iron and Steel Works (Magnitogorsk, Russia)

Abstract: At present time, an oxygen converter process is one of the most widespread steel making processes. Often it uses steel scrap as a refrigerant. This occurs because of the facts that chemically pure steel scrap has high technological properties and is a production waste which requires recycling. One of the important technological parameters of the steel scrap metal used in basic oxygen furnace is its bulk density. It can affect the steel production yield and process stability in the furnace. That is why there is a need to control the bulk density of the steel scrap in a peel before putting it into the furnace. The bulk density can be calculated using information about its volume and weight. Finding the weight of the scrap-metal does not cause any difficulties because converter shop is equipped with a scale designed to weigh peel with scrap-metal in it. On the other hand, finding the volume of the steel scrap that had been placed in the peel is a much more difficult problem. In order to solve that problem specialists of CJSC “KonsOM SKS” conducted experiments directed to measure the

steel scrap volume using 3D-camera with time-of-flight sensor in oxygen converter shop at OJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works". The camera allows to measure the distance between camera itself and a surface of scrap-metal in the peel. Then that distance can be used to calculate scrap-metal surface height above the peel bottom that in turn also is a surface with known distance from it to the camera. This paper presents calculation of steel scrap-metal volume in the peel using the distances obtained during the experiment. Comparison of different values of the volume obtained for the same peel in various time points showed that error caused by 3D-camera's measurement inconstancy lies within 5% limits. The obtained volume values can further be used to calculate bulk density of the scrap.

Key words: metallurgical industry, basic oxygen furnaces, bulk density, scrap metal, volume measurement, 3D-camera.

References:

1. Kolesnikov Yu.A., Bigeev V.A., Sergeev D.S. Calculation of technological parameters of smelting became in the converter with use of various coolers. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2014. No. 2(15). pp. 45–48.
2. Makarova E.A., Peristy M.M. Problems of converter steel production and ways of solving of scrap-metal deficiency. Environmental protection and rational use of natural resources. *Collection of reports of the XXIII All-Ukrainian scientific conference of post-graduate students and students*. Donetsk: DonNTU, DonNU, 2013. Vol. 2. pp. 158–159.
3. Shelyagovich A.V. Development of modes of metal charging formation in oxygen converter using composite materials and investigation of their influence on technological indicators of steel smelting : Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 2005. 211 p.
4. Möller T., Kraft H., Frey J., Albrecht M., Lange R. Robust 3D measurement with PMD sensors. *Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH*. Zurich, Switzerland, 2005.
5. Q. Xu, Y. Huang, L. Xing, Z. Tian, Z. Fei and L. Zheng. A fast method to measure the volume of a large cavity. *IEEE Access*. 2015. pp. 1555–1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661.
6. Chincholkar Y. D., Bangadkar S. A Review of ToF PMD Camera. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. 2015. Vol. 4, Iss. 5. pp. 4142–4149. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0405058.
7. Paterikin V. I. Optical sounding methods for screen means of measurement of spatial parameters of 3D objects surface in the real time. *Interekspo Geo-Sibir*. 2015. No. 2. pp. 44–48.
8. Krysin D. Yu., Nebylov A.V. Application of time-of-flight pmd-cameras for distance measurement to water surface. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki*. 2013. No. 2 (84). pp. 33–39.
9. Rutkovskiy V. O., Rutkovskaya M. A. Method of obtaining of 3D numerical models of technical objects, based on application of artificial textures. *Vestnik SibGAU*. 2010. No. 5. pp. 249–254.
10. Berkovic G., Shafir E. Optical methods for distance and displacement measurements. *Advances in Optics and Photonics 4*. 2012, pp. 441–471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441.
11. Huddart Y. R. Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines, dissertation, Heriot-Watt University, 2010.
12. Sklyarenko M. S. Accuracy estimation of object tracking methods for identification of 2D-coordinates and velocities of mechanical systems based on digital photography data. *Kompyuternaya optika*. 2015. No. 1. pp. 125–135.
13. Borminskiy S. A., Solntseva A. V., Skvortsov B. V. A method for optoelectronic control of liquid volume in a tank. *Kompyuternaya optika*. 2016. Vol. 40, No. 4. pp. 552–559.
14. Wilczkowiak M., Boyer E., Sturm P. "Camera Calibration and 3D Reconstruction from Single Images Using Parallelepipeds. *8th International Conference on Computer Vision (ICCV '01)*. Vancouver, Canada. IEEE Computer Society, 1. pp.142–148, 2001.
15. Criminisi A., Reid I., Zisserman A. Single View Metrology. University of Oxford, 1999.
16. O3M150. Photoelectric sensors for objects identification. Available at: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (accessed: 05.05.2016).
17. Luan X. Experimental investigation of Photonic Mixer Device and development of TOF 3D ranging systems based on PMD technology, dissertation, University of Siegen, 2001.