



Большаков В.И. /д.т.н./, Лебедь В.В.,  
Жеребецкий А.А.  
ИЧМ НАНУ

Акушевич А.В., Остапенко Д.Б.  
ПАО «Алчевский МК»

## Совершенствование контроля истечения шихтовых материалов из бункеров бесконусного загрузочного устройства доменной печи объемом 3000 м<sup>3</sup>

Выполнена оценка показаний средств контроля процесса загрузки и выгрузки шихтовых материалов из бункеров бесконусного загрузочного устройства доменной печи объемом 3000 м<sup>3</sup>. Разработаны и опробованы рекомендации по совершенствованию работы радиолокационных уровнемеров. Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

**Ключевые слова:** доменная печь, бесконусное загрузочное устройство, бункер, шихтовые материалы, радиолокационный уровнемер

*The evaluation of evidence process controls for loading and unloading of charge materials from bins beskonusnogo boot device blast furnace with capacity of 3000 m<sup>3</sup>. Developed and tested recommendations to improve the work of radar transmitters.*

**Keywords:** blast furnace, beskonusnoe feeder, hopper, charge materials, radar level gauge.

Применение бесконусных загрузочных устройств (БЗУ) обеспечивает широкие возможности управления распределением шихтовых материалов. Программа загрузки является основным инструментом управления радиальным и окружным распределением шихты и газов в доменной печи (ДП) [1]. Успешная реализация управляющих воздействий с помощью программы загрузки существенно зависит от фактических параметров работы оборудования системы загрузки, которые обеспечиваются необходимыми средствами контроля ее работы. Одними из основных параметров работы БЗУ, которые необходимо контролировать для обеспечения надежной и бесперебойной загрузки печи, являются уровень шихтовых материалов в бункерах загрузочного устройства и скорость их истечения.

ДП № 1 ПАО «АМК» объемом 3000 м<sup>3</sup> оснащена двухтрактовым БЗУ конструкции «Азовмаш» с вращающимся лотковым распределителем. Согласно проекту загрузочного устройства контроль процесса истечения шихтовых материалов из бункеров БЗУ должен осуществляться с помощью радиоизотопных датчиков и взвешивающих устройств. Однако, по ряду причин, контроль истечения по взвешиванию не был реализован, а радиоизотопные датчики были укомплектованы маломощным источником излучения и не обеспечивали стабильный контроль наличия материалов в бункерах. Таким образом, на исследованной ДП отсутствовала возможность эффективно оценивать продолжительность выгрузки порций шихтовых материалов, что приводит к уменьшению резерва пропускной способности. На ДП большого объема оснащенных БЗУ обычно применяются дублирующие средства контроля процесса истечения материалов из бункеров (вибродатчики, взвешивающие устройства, радары), что позволяет увеличить надежность и достоверность контроля.

Поэтому по рекомендации ИЧМ для контроля уровня шихтовых материалов и процесса их истечения на бункерах БЗУ были установлены радиоволновые уровнемеры. На начальном этапе экспериментального освоения на промежуточных бункерах БЗУ были установлены различные типы измерителей производства фирмы «Лимако» (Тула): на левом бункере был установлен датчик типа УЛМЗ1-А2, а на правом – УЛМ-11А1, которые, главным образом, отличаются характеристиками излучаемого радиосигнала.

Во время одной из остановок ДП на ППР сотрудниками Института были выполнены инструментальные измерения геометрических параметров установки радиоволновых уровнемеров. Полученные данные в трех проекциях были сопоставлены с характеристиками излучаемых радиосигналов и конструктивными параметрами бункеров. Результаты измерений показаны на рис. 1.

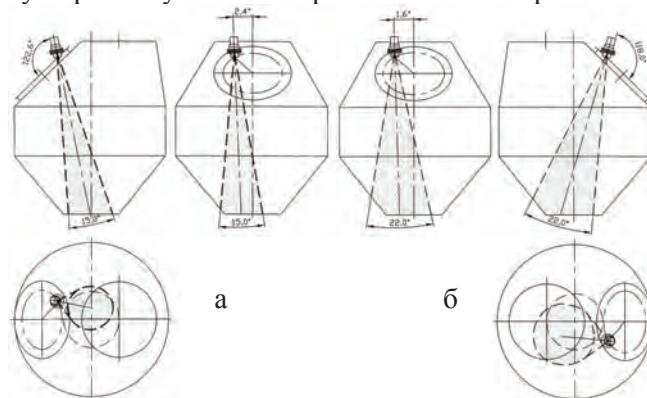


Рис. 1. Результаты измерений геометрических параметров установки радиоволновых уровнемеров на правом (а) и левом (б) бункерах БЗУ исследованной печи

В процессе эксплуатации установлено, что радар типа УЛМЗ1-А2 не обеспечивал достаточно надеж-

ного контроля уровня шихты в бункере, что выражалось в частых случаях недостоверной индикации «кострения» и «переполнения» бункера. Поэтому на плановом ремонте печи на левом бункере радар типа УЛМ31-А2 был заменен на УЛМ-11А1, аналогичный установленному на правом бункере.

Оснащение БЗУ радиоволновыми уровнемерами предоставило возможность контроля процессов загрузки и выгрузки шихтовых материалов из бункеров. При этом практический интерес представляет разработка и реализация в системе контроля и управления надежных алгоритмов и соответствующих подсистем: оценки фактического количества (массы, объема) материала в бункерах БЗУ, сигнализации о переполнении бункеров БЗУ и «кострении» материала, оценки фактического времени выгрузки (истечения) материала из бункера БЗУ.

На рис. 2 представлены зависимости уровня поверхности засыпи в бункерах БЗУ исследованной печи от массы загруженных в них шихтовых материалов. На рис. 2а, в видно, что между уровнем в бункерах и массой загруженного в них кокса существует тесная взаимосвязь, которая характеризуется линейной прямо пропорциональной зависимостью с коэффициентом корреляции  $r = 0,99$ . Подобные зависимости также были зафиксированы при загрузке в бункер порций железорудных материалов, которые характеризуются линейной прямо пропорциональной взаимосвязью с коэффициентами корреляции  $r = 0,934$  и  $r = 0,863$  для левого и правого бункеров соответственно (рис. 2б, г). Менее тесная взаимосвязь для железорудных материалов, по-видимому, обусловлена изменениями доли окатышей в составе порций.

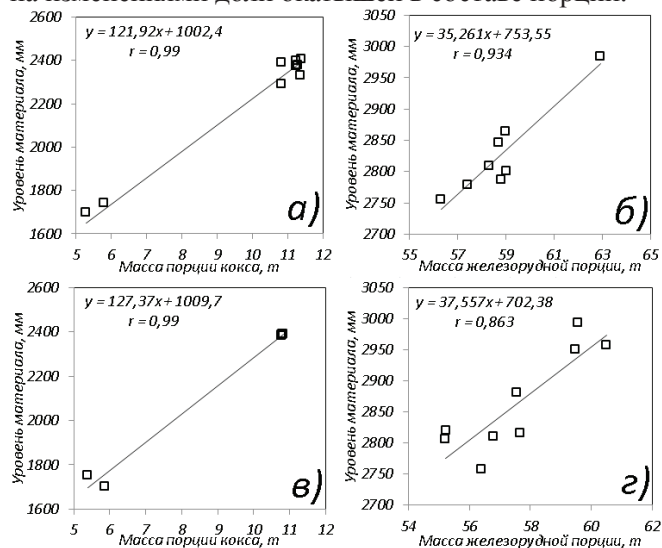


Рис. 2. Зависимость уровня в левом (а, б) и правом (в, г) бункерах БЗУ от массы загруженного в них материала

Для определения предельно допустимого уровня шихты в бункерах (по показаниям радаров) были выполнены дополнительные исследования с использованием информации, полученной из результатов предпусковых исследований, выполненных ранее [2, 3]. Установлено, что предельная масса кокса загружаемого в бункерах БЗУ соответствует 18 т. Основной

задачей оценки предельных масс порций являлось обеспечение безопасной работы верхнего газоплотнительного клапана, что определялось принятой величиной зазора между поверхностью засыпи шихты и нижней кромкой клапана при его открывании – не менее 500 мм.

Для определения предельного уровня засыпи кокса в бункерах были использованы зависимости, показанные на рис. 2. Так, уровень засыпи 18 т кокса в левом бункере составил 3196 мм, в правом – 3300 мм. Эти значения могут быть использованы в качестве уставок в подсистеме сигнализации о переполнении бункера БЗУ.

Учитывая особенность радиолокационного способа определения уровня шихтовых материалов, которая заключается в наличии расширяющегося пучка радиоволн, образующих на облучаемой поверхности условное «пятно» (рис. 1), важно определить, какая из областей отраженного от поверхности «пятна» является наиболее характерной для фактического уровня шихты в бункере. Для этого предполагаемые траектории излучаемых радиоволн были сопоставлены с профилями поверхности засыпи в бункерах БЗУ, полученными на предпусковых исследованиях (рис. 3) [2]. На отрезках, соответствующих горизонтальным проекциям условных «пятен», образующихся при пересечении радиолокационного сигнала и поверхности шихты, выделены три характерные точки – 1, 2 и 3.

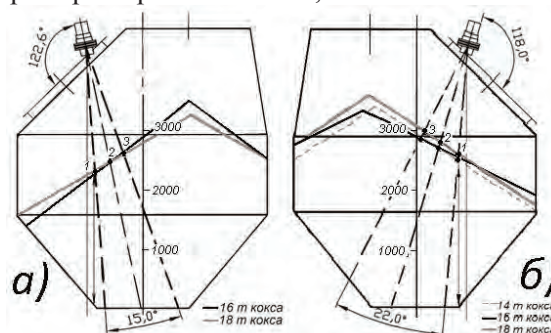


Рис. 3. Расположение радиолокационных датчиков-уровнемеров и изменение геометрических параметров засыпи шихты в правом (а) и левом (б) бункерах БЗУ при различном количестве загружаемого в них кокса (вид со стороны монтажного люка)

В табл. 1 приведены расчетные уровни расположения точек 1-3 и прогнозные показания радаров при загрузке в бункера БЗУ порций кокса различной массы: 14, 16 и 18 т. Прогнозные значения уровня шихты по показаниям радаров получены из зависимостей, показанных на рис. 2.

Из результатов сравнительного анализа данных табл. 1 следует, что для радара, установленного на левом бункере БЗУ, наиболее характерными для фактического уровня шихты в бункере являются точки 2 и 3, т.е. показания датчика соответствуют расположению наиболее близких точек поверхности шихты. Однако для правого бункера расчетные расположения точек 1-3 и прогнозные показания радара имеют значительную невязку 450 мм, что, по-видимому, объясняется конструкцией самого бункера (измеренный диаметр на 200 мм больше, чем у левого бункера).

**Таблица 1. Расчетный уровень расположения точек поверхности засыпи и прогнозные показания радаров при загрузке в бункера БЗУ различных масс кокса**

Масса кокса, т	Расчетный уровень, мм						Прогнозный уровень по показаниям радара, мм	
	Левый бункер			Правый бункер			Левый бункер	Правый бункер
	1	2	3	1	2	3		
14	2500	2714	2918	н.д.	н.д.	н.д.	2708,6	н.д.
16	2659	2715	2968	2249	2421	2588	2952,4	3045,8
18	2712	2914	3127	2309	2421	2558	3196,2	3300,4

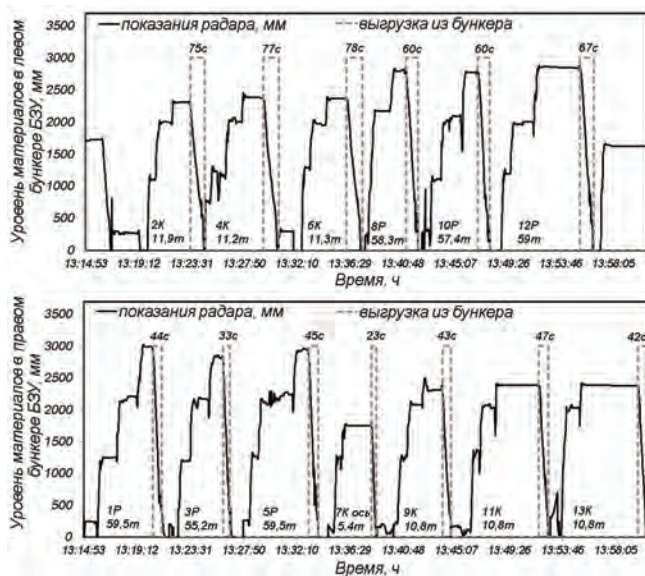
Это может вносить существенные изменения в процессы формирования поверхности засыпи шихты в бункере, которые выражаются в большем выравнивании поверхности материалов при их загрузке.

По инициативе сотрудников ИЧМ на нижних шихтовых затворах бункеров БЗУ были восстановлены цифровые кодовые датчики, предусмотренные проектом. Данное мероприятие позволило увеличить точность контроля и позиционирования углов открывания затворов. Для оценки стабильности времени выгрузки материалов из бункеров БЗУ был выполнен сравнительный статистический анализ периодов до и после их установки (табл. 2). Так, период работы до установки кодовых датчиков характеризовался средним временем выгрузки порции железорудных материалов (55,3 т) – 53,2 с, а кокса (11,7 т) – 33,7 с. После установки цифровых датчиков среднее время выгрузки железорудных материалов и кокса составило 73,2 и 45,2 с, соответственно. Таким образом, удалось добиться увеличения времени выгрузки порций шихты и, соответственно, количества оборотов на которые она выгружается. Так, для железорудных материалов с ~7 до ~9,8 оборота, а для кокса с ~4,5 до ~6 оборотов. Это позволило увеличить эффективность использования возможностей БЗУ по управлению распределением шихтовых материалов на колошнике.

На рис. 4 приведены типичные показания радарных уровнемеров, установленных на бункерах БЗУ исследованной печи. Из указанного рисунка видно,

что процесс выгрузки шихты в интервале от исходного уровня материалов (в момент начала открывания ШЗ) до уровня 500-600 мм характеризуется достаточной постоянной скоростью схода (опускания поверхности шихты).

Определение момента фактического окончания выгрузки шихты из бункера является важной задачей, от решения которой зависит как надежность работы аварийной сигнализа-



**Рис. 4. Показания радарных уровнемеров, установленных на бункерах БЗУ исследованной печи**

ции, так и стабильность формирования рационального распределения на колошнике печи. Одним из возможных способов решения этой задачи является задание обоснованной временной выдержки ( $\Delta T$ ) между моментом достижения уровня в бункере 500 мм ( $T_{нач.выгр.}$ ) и закрыванием ШЗ (рис. 5). По нашей оценке, в качестве временной выдержки ( $\Delta T$ ) на закрывание ШЗ достаточно 10 с. Таким образом, можно определять с достаточной точностью и,

**Таблица 2. Параметры выгрузки шихтовых материалов из бункеров БЗУ до и после установки цифровых датчиков на нижние шихтовые затворы БЗУ исследованной печи**

Параметр	До установки кодового датчика на ШЗ						После установки кодового датчика на ШЗ						$\Delta$		
	Левый бункер		Правый бункер		Среднее		Левый бункер		Правый бункер		Среднее				
	ЖРМ	Кокс	ЖРМ	Кокс	ЖРМ	Кокс	ЖРМ	Кокс	ЖРМ	Кокс	ЖРМ	Кокс	ЖРМ	Кокс	
Масса материала	54,7	11,1	55,9	12,2	<b>55,3</b>	<b>11,7</b>	53,7	12	54,4	12	<b>54,1</b>	<b>12</b>	-	-	
Время выгрузки	Max, с	65,1	38,3	67,3	38,4	<b>66,2</b>	<b>38,4</b>	132	54	81,7	51,3	<b>107</b>	<b>52,7</b>	40,4	14,3
	Min, с	28,7	29,5	42,7	30,8	<b>35,7</b>	<b>30,1</b>	42,1	42	58,1	35,6	<b>50,1</b>	<b>38,8</b>	14,4	8,64
	Сред., с	52,2	33,4	54,2	33,9	<b>53,2</b>	<b>33,7</b>	78,7	47,9	67,7	42,6	<b>73,2</b>	<b>45,2</b>	20	11,6
	$\sigma$ , с	9,62	2,28	5,13	2,28	<b>7,38</b>	<b>2,28</b>	15,7	3,4	6,19	4,04	<b>10,9</b>	<b>3,72</b>	3,54	1,44
	$v$ , %	18,4	6,82	9,47	6,71	<b>14</b>	<b>6,77</b>	19,9	7,11	9,14	9,47	<b>14,5</b>	<b>8,29</b>	0,56	1,52
Массовый расход	Max, т/с	2	0,38	1,24	0,41	<b>1,62</b>	<b>0,39</b>	1,24	0,29	0,95	0,35	<b>1,1</b>	<b>0,32</b>	-0,52	-0,1
	Min, т/с	0,81	0,29	0,84	0,31	<b>0,83</b>	<b>0,3</b>	0,42	0,22	0,62	0,23	<b>0,52</b>	<b>0,22</b>	-0,31	-0,1
	Сред., т/с	1,1	0,33	1,04	0,36	<b>1,07</b>	<b>0,35</b>	0,71	0,25	0,81	0,28	<b>0,76</b>	<b>0,27</b>	-0,31	-0,1
	$\sigma$ , м <sup>3</sup> /с	0,29	0,02	0,09	0,03	<b>0,19</b>	<b>0,02</b>	0,14	0,02	0,08	0,03	<b>0,11</b>	<b>0,03</b>	-0,08	0
	$v$ , %	26,1	6,81	8,47	7,41	<b>17,3</b>	<b>7,11</b>	20,4	8,14	9,69	11,1	<b>15,1</b>	<b>9,63</b>	-2,24	2,52

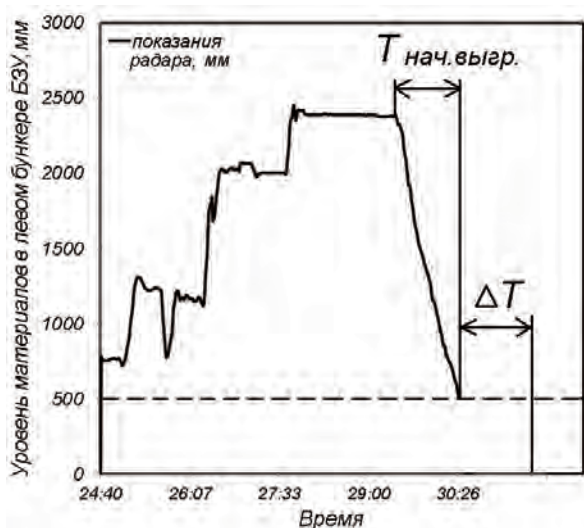


Рис. 5. Способ определения момента фактического окончания выгрузки шихты из бункера БЗУ ДП № 1

главное, надежностью продолжительность истечения шихты из бункера БЗУ.

**Заключение**

Эффективность использования возможностей БЗУ по управлению распределением шихтовых материалов на колошнике ДП в значительной степени зависит от достоверности контроля различных параметров работы системы загрузки. Одними из важнейших параметров работы БЗУ, которые обеспечивают надежную и бесперебойную загрузку печи, являются уровень и количество шихтовых материалов в бункере устройства и скорость их истечения.

Оснащение БЗУ исследованной печи радиолока-

ционными датчиками уровня предоставило возможность контроля процессов загрузки и выгрузки шихтовых материалов из бункеров. Комплексное научно-техническое сопровождение работы исследованной печи, которое включало проведение предпусковых исследований, позволило специалистам ИЧМ совместно с персоналом доменного цеха разработать и реализовать в системе контроля и управления надежные алгоритмы и соответствующие подсистемы, эксплуатируемые с ноября 2011 г. до настоящего времени, с последующей разработкой и освоением рациональных режимов загрузки печи.

**Библиографический список**

1. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. - К.: Наукова думка, 2007. - 412 с.
2. Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А. Исследование формирования поверхности шихтовых материалов в бункерах бесконусного загрузочного устройства // Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». - 2010. - № 22. - С. 27-32.
3. Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А. Новая методика предпусковых исследований на доменной печи // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2011. - № 3. - С. 86-90.

Поступила 30.09.2013

УДК 621.874.001.4.

Производство

**Будиков Л.Я. /д.т.н./, Бойко Г.А. /к.т.н./, Медведев Г.М., Бойко Т.В.**  
 Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля

**Интегральный метод оценки несущей способности мостового крана**

*Для повышения точности измерения прогиба главных балок мостовых кранов предлагается новый способ проведения статических испытаний. Величина упругого прогиба главных балок используется для определения фактических механических напряжений, а регулярный контроль величины указанного прогиба позволяет оценить фактическую несущую способность главных балок и её возможное изменение в ходе длительной эксплуатации кранов. Ил. 3. Библиогр.: 2 назв.*

**Ключевые слова:** мостовой кран, статические испытания, упругий прогиб, несущая способность

*The size of the resilient bending of main beams is used for determination of actual mechanical tensions, and regular control of size of the indicated bending allows to estimate actual bearing strength of main beams and her possible change during the protracted exploitation of faucets.*

**Keywords:** travelling crane, static tests, resilient bending, bearing strength.

Многолетний опыт экспертных обследований (технического диагностирования) грузоподъемных кранов свидетельствует о том, что одним из наиболее

важных этапов диагностирования является проведение статических испытаний кранов.

Правильность проведения испытаний и точность

© Будиков Л.Я., Бойко Г.А., Медведев Г.М., Бойко Т.В., 2013 г.