

И. В. Пелых, В. А. Петренко*

ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского», Днепропетровск

*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Исследование эксплуатационной надежности вибрационных грохотов калибровки кокса в технологических процессах шихтоподготовки доменного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Найдены законы распределения сроков службы сит вибрационных грохотов, проводящих отсеивание (калибровку) некондиционных фракций коксовой мелочи из доменного кокса, непосредственно перед его подачей в доменную печь. Рассмотрены условия эксплуатации, виды и основные причины отказов в работе вибрационных грохотов калибровки кокса, используемых в современных системах шихтоподготовки доменного производства.

Ключевые слова: фракционирование, вибрационный грохот, коксовая мелочь, калибровка кокса, сито, логнормальный закон, функция распределения, эксплуатационная надежность

Постановка проблемы. В технологических процессах шихтоподготовки различных видов металлургического сырья, проведение которых необходимо для его дальнейшего использования в доменном переделе, широко используется процесс разделения по различным классам крупности – фракционирование. Одним из наиболее широко применяемых видов фракционирования является процесс грохочения (разделения по заданной крупности), осуществляемый на просеивающих поверхностях вибрационных грохотов.

Выделение из доменного кокса фракций «некондиционной» коксовой мелочи непосредственно перед его подачей в доменную печь – калибровка доменного кокса, является весьма ответственной технологической операцией. Замельченность кокса фракцией крупностью (0-25) мм влечет за собой ухудшение хода доменной плавки, повышение загромождения горна и, как следствие, «горение» воздушных фурм с дополнительными вынужденными простоями на их замену. При этом «закрупнение» коксовой мелочи мелкими частицами доменного кокса приводит к необоснованным потерям данного ценного составного компонента доменной шихты.

Уменьшение содержания коксовой мелочи в столбе шихты доменной печи повышает его газопроницаемость, улучшает теплообмен и способствует увеличению непрямого восстановления железа. Кроме того снижаются потери кокса с колошниковой пылью и продуктами плавки, стабилизируются условия формирования зон горения и других процессов доменной плавки [1]. Поэтому исследование эксплуатационной надежности вибрационных грохотов калибровки кокса доменного производства (ВГКК) является актуальной задачей при создании и возможной модернизации данного вибрационного оборудования.

Цель (задача) исследования. Целью данной работы является проведение анализа причин отказов в работе (ВГКК) и нахождение закона распределения сроков службы сит (ВГКК), основанное на проведе-

нии статистической обработки полученных результатов и их графической оценки, представленной эмпирической функцией вероятностного распределения.

Основной материал исследования. Доменный цех ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» в своем составе имеет три доменные печи с суммарным полезным объемом 2766 м³ – доменную печь № 2 с полезным объемом 700 м³ и две доменные печи № 3 и № 5 (печь № 5 в настоящее время находится на консервации) с полезным объемом 1033 м³ каждая. У всех доменных печей имеется бункерная эстакада и общий рудный двор для выгрузки и хранения железорудного сырья и доменного кокса. Основное технологическое оборудование, задействованное для проведения операции калибровки кокса и его последующей подачи в доменную печь, представлено на рис. 1.

В условиях ДЦ ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» началом канала подсистемы подачи кокса в каждую доменную печь (рис. 1) являются два загрузочных коксовых бункера 1, расположенных на бункерной эстакаде, напротив доменной печи, симметрично ее оси. Емкость коксовых бункеров составляет на ДП-2 – 210 м³, на ДП-3 – 350 м³. Выпускные горловины коксовых бункеров перекрываются затворами и располагаются над двухъярусными вибрационными грохотами калибровки кокса (ВГКК) 2, осуществляющими технологическую операцию разгрузки бункеров. Калибровка доменного кокса на вибрационных грохотах является последней «доводочной» технологической операцией перед загрузкой данного агломерационного топлива в доменную печь [2]. С целью ее проведения – выделения из доменного кокса некондиционной коксовой мелочи крупностью <25 мм, на ДП-2 и ДП-3 задействовано по два двухъярусных (2-х-ситных) самоцентрирующихся инерционных вибрационных грохота собственной конструкции ЛАМ-ДЦ, постоянно подвергаемых различным модернизациям по месту использования. Время калибровки 1-м (ВГКК) 1-й т доменного кокса составляет 50-55 с.

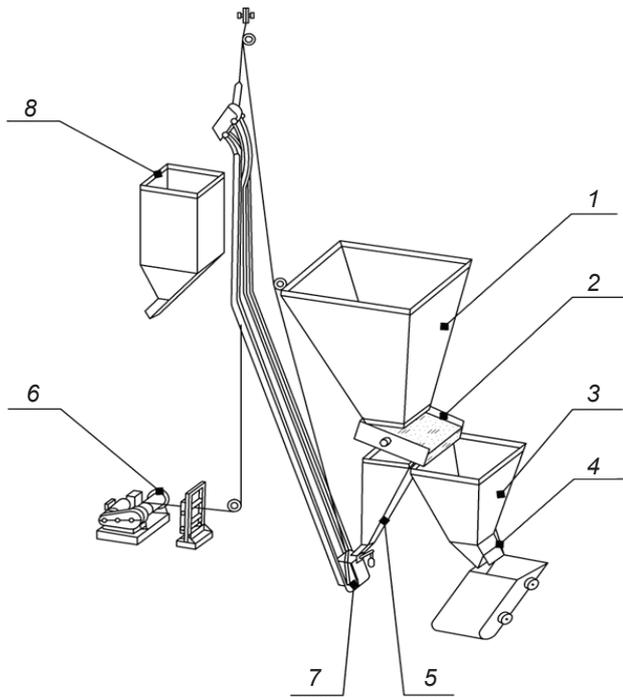


Рис. 1. Структурная схема канала подсистемы подачи кокса в доменную печь ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»: 1 – загрузочный коксовый бункер; 2 – вибрационный грохот калибровки кокса (ВГКК); 3 – весовая воронка; 4 – затвор весовой воронки; 5 – нижний промежуточный бункер коксовой мелочи; 6 – лебедка; 7 – скиповый подъемник коксовой мелочи; 8 – верхний тупиковый бункер-накопитель коксовой мелочи; 9 – скиповый подъемник металлургического кокса

Откалиброванный верхними и нижними ситами вибрационных грохотов доменный кокс крупностью >25 мм поступает в весовую воронку 3, а затем из весовой воронки скипами главного подъема 9 подается непосредственно в доменную печь. Весовая воронка 3 представляет собой металлическую емкость, опирающуюся на систему весовых тензометрических датчиков. Выпускное отверстие весовой воронки перекрывается снизу шиберным затвором 4. При этом все технологические операции по транспортировке и загрузке откалиброванного доменного кокса в скипы главного подъема 9 доменных печей выполняются автоматически.

Откалиброванная вибрационными грохотами некондиционная коксовая мелочь (крупностью <25 мм) скиповыми подъемниками коксовой мелочи 7 с помощью электрических лебедок 6 подается в тупиковые бункера-накопители коксовой мелочи 8, откуда в дальнейшем выгружается в железнодорожные вагоны и отправляется для дальнейшего использования на другие участки завода. Общее количество отсеиваемой (ВГКК) коксовой мелочи на ДП-2 и ДП-3 составляет 3100-3300 т в месяц.

Принцип работы вибрационного грохота калибровки кокса заключается в том, что под действием вращающихся неуравновешенных

масс вибратора, короб грохота совершает круговые колебательные движения в вертикальной плоскости с радиусом (R), равным амплитуде его колебаний (A). При этом под воздействием поля вибрационных сил классифицируемый материал (коксины) «подбрасывается» на верхнем и нижнем ситах грохота, жестко закрепленных на связь-балках короба, и, в дальнейшем транспортируясь по ним, классифицируется на: надрешетный продукт верхней просеивающей поверхности (ПП) и надрешетный продукт нижней (ПП) – то есть откалиброванный доменный кокс, подающийся в доменную печь и подрешетный продукт нижней (ПП) – некондиционную коксовую «мелочь» (коксовую просевку).

Вибрационный грохот калибровки кокса ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» (рис. 2) состоит из следующих основных узлов: наклонного короба 1, двух листовых металлических просеивающих поверхностей 2-3, вибратора 4, соединительной лепестковой муфты 5, электродвигателя 6, установленного на моторной раме, пружинных опор 7.

Короб грохота является сборной металлоконструкцией и состоит из бортовых стенок (бортовин) и поперечных связь-балок (труб круглого или квадратного поперечного сечения). Связь-балки соединяются с бортовыми стенками болтовыми соединениями, либо при помощи резино-металлических упругих элементов, запрессованных во фланцы. Последний способ предоставляет возможность ликвидировать концентрацию напряжений в местах соединений составных элементов короба и этим существенно повысить в целом долговечность данной металлоконструкции.

Вибратор состоит из вала, двухрядных радиальных сферических подшипников 3526 и дебалансов. Вал вибратора соединен с валом электродвигателя лепестковой муфтой. При этом средняя часть вала смещена относительно оси вращения, образуя дополнительную дебалансную массу короба. Корпуса подшипников выполнены в виде фланцев и крепятся к бортовым стенкам высокопрочными болтами. Пружинные опоры грохота содержат три винтовых цилиндрических пружины, обладающих заданной жесткостью, а дебалансы состоят из двух дисков, с помощью которых имеется возможность производить регулировку амплитуды колебаний короба грохота.

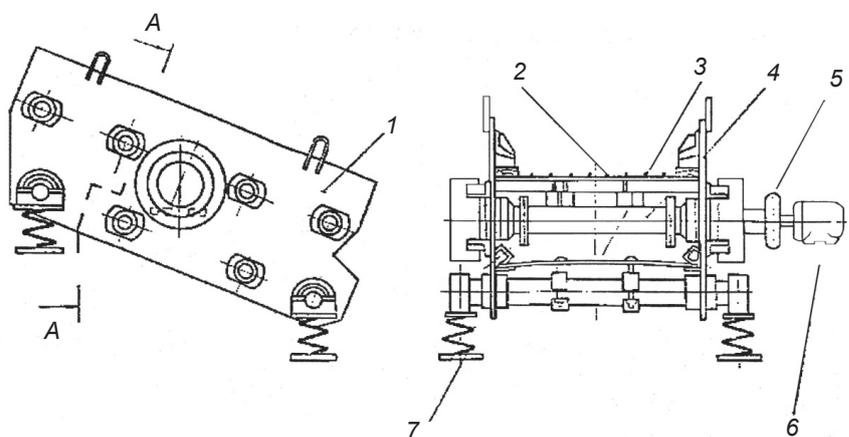


Рис. 2. Вибрационный грохот калибровки кокса системы шихтоподготовки доменного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Привод (ВГКК) состоит из электродвигателя, установленного на моторной раме и лепестковой муфты, передающей вращение вибратору.

Все 4 (ВГКК) имеют два яруса листовых металлических сит. Верхнее и нижнее сита, материалом для изготовления которых служит углеродистая легированная сталь 65Г, снабжены круглыми сверленными отверстиями соответственно с \varnothing 55-60 и 25-30 мм и выполнены из совмещенных друг с другом 3(4)-х прямоугольных металлических листов толщиной 10 мм. Площадь живого сечения верхних и нижних листовых металлических сит находится в пределах 35-40 %, а срок службы сит данной конструкции составляет не более 3 месяцев. При этом общая площадь верхней и нижней просеивающей поверхности ВГКК составляет соответственно 4,0 и 4,5 м².

Анализ работы (ВГКК), проведенный на основе учетной документации цеха (табл. 1) показал, что имеются две основные причины отказов (поломок), присущих данному вибрационному технологическому оборудованию в его процессе эксплуатации. Этими причинами являются: отказы (поломки) подшипниковых узлов и выход из строя (разрушение) просеивающих поверхностей (верхних и нижних сит) вибрационного грохота.

Замена подшипников производится при повышении температуры бортовин короба (ВГКК) в районе их посадочного места, а также при нарушении целостности обоймы, сепаратора, наличия люфтов, выявленных при вскрытии подшипникового узла (ВГКК), производимого в период ППР или во время вынужденных технологических простоев.

В процессе абразивного износа листовых металлических сит (ВГКК) с течением времени постепенно разрушаются перемычки между их сверленными просеивающими отверстиями. Данные отверстия постепенно объединяются, образуя все большие «разрывные» отверстия (по 2, 3, 4 и так далее штук каждое). Как показывает практика, одно «разрывное» отверстие, объединившее в себе более 4-х первоначально сверленных отверстий, может привести к расколу металлического листа, формирующего просеивающую поверхность (ВГКК).

В связи с тем, что основными отказами в процессе работы ВГКК являются поломки – выход из строя

просеивающих поверхностей данного технологического оборудования, рассмотрим статистическую выборку замен сит за период одного года в процессе эксплуатации 4-х ВГКК ДЦ. Приведем порядок расчета и занесем результаты в табл. 2.

Строим фактическую зависимость вероятности работы от $\lg(T)$ (рис. 3).

Строим зависимость квантиля нормированного распределения от $\lg(T)$. Так как ее вид близок к прямой то предполагаем, что закон распределения имеет логнормальный вид (рис. 4).

Определяем статистические параметры логнормального распределения. Средний логарифм

$$\lg(T) = \frac{\sum T_i}{n} = 1,7749 \text{ и среднеквадратичное отклонение } \sigma_{\lg(T)} = \sqrt{\frac{\sum [\lg(T_i) - \lg(T)]^2}{n-1}} = 0,156.$$

Строим теоретическую кривую закона логнормального распределения, согласно полученным статистическим параметрам (рис. 3).

Проверка согласия опытных данных с логнормальным законом распределения срока службы сит по критерию Колмогорова. Из табл. 1 находим наибольшую разницу D_n между опытными и теоретическими значениями функции распределений. В нашем случае имеем: $D_n = 0,133$, критерий Колмогорова $\lambda_n = D_n \sqrt{n} = 0,133 \sqrt{24} = 0,653$, для данного λ_n вероятность правильности предположения о логнормальном законе распределения составляют 0,80 [3].

Выводы

Рассмотрена работа составных элементов системы шихтоподготовки доменного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского». Дана характеристика технологического оборудования, формирующего канал подсистемы подачи кокса в доменную печь.

Проведена комплексная оценка эксплуатационной надежности вибрационного грохота калибровки кокса (ВГКК). На основании выборки существующего потока имеющихся отказов в работе (ВГКК) определены статистические показатели, позволяющие оценивать техническое состояние данной вибромашины.

В качестве базового принят логнормальный закон распределения со следующими параметрами:

Таблица 1

Виды отказов, время ремонтов и межремонтный период основных составных узлов (ВГКК) на доменных печах ДП-2 и ДП-3 в 2012-2013гг.

ДП-2				ДП-3			
Замена сит		Замена подшипников	Замена обеих ВГКК	Замена сит		Замена подшипников	Замена обеих ВГКК
левый ВГКК	правый ВГКК			левый ВГКК	правый ВГКК		
20.06.12	21.06.12	16.08.13	22.10.12	07.06.12	12.06.12	30.03.13	21.09.12
12.09.12	04.09.12	–	–	01.08.12	02.08.13	–	–
06.10.12	10.10.12	–	–	14.10.12	25.10.12	–	–
30.01.13	31.01.13	–	–	04.12.12	11.12.12	–	–
28.03.13	26.03.13	–	–	14.02.13	07.02.13	–	–
20.05.13	21.05.13	–	–	30.03.13	30.03.13	–	–
17.07.13	25.07.13	–	–	23.05.13	24.05.13	–	–

средний логарифм $\lg(T) = \frac{\sum T_i}{n} = 1,7749$ и среднеква-

дратичное отклонение $s = 0,156$. Критерий согласия Колмогорова для данной выборки $I_n = 0,653$, вероятность правильности предположения о логнормальном законе распределения составляет 0,80.

В процессе обработки полученных данных определено, что для вероятности безотказной работы 98 %, срок службы листовых металлических сит (ВГКК) составляет 26 суток.

Таблица 2

Результаты расчета

Номер п/п	Наработка на отказ, T_i	$\lg(T_i)$	Вероятность фактическая	Квантиль, U_p	Вероятность теоретическая	D_n
1	24	1,380	0,021	-2,037	0,006	0,015
2	36	1,556	0,063	-1,534	0,081	0,018
3	37	1,568	0,104	-1,258	0,093	0,011
4	44	1,643	0,146	-1,054	0,200	0,054
5	50	1,699	0,188	-0,887	0,313	0,126
6	51	1,708	0,229	-0,742	0,333	0,104
7	53	1,724	0,271	-0,610	0,373	0,102
8	54	1,732	0,313	-0,489	0,393	0,080
9	54	1,732	0,354	-0,374	0,393	0,039
10	55	1,740	0,396	-0,264	0,413	0,017
11	55	1,740	0,438	-0,157	0,413	0,025
12	56	1,748	0,479	-0,052	0,432	0,047
13	57	1,756	0,521	0,052	0,452	0,069
14	58	1,763	0,563	0,157	0,471	0,092
15	58	1,763	0,604	0,264	0,471	0,133
16	65	1,813	0,646	0,374	0,596	0,050
17	72	1,857	0,688	0,489	0,701	0,014
18	75	1,875	0,729	0,610	0,739	0,010
19	75	1,875	0,771	0,742	0,739	0,031
20	81	1,908	0,813	0,887	0,804	0,009
21	84	1,924	0,854	1,054	0,831	0,023
22	86	1,934	0,896	1,258	0,847	0,049
23	117	2,068	0,938	1,534	0,970	0,032
24	122	2,086	0,979	2,037	0,977	0,002

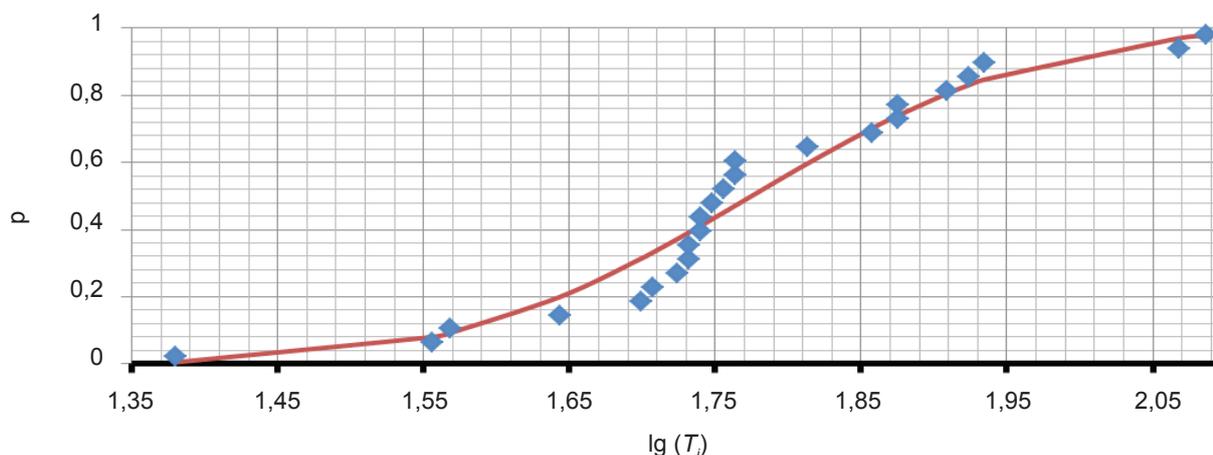


Рис. 3. График функции распределения (фактический (♦) и теоретический (—))

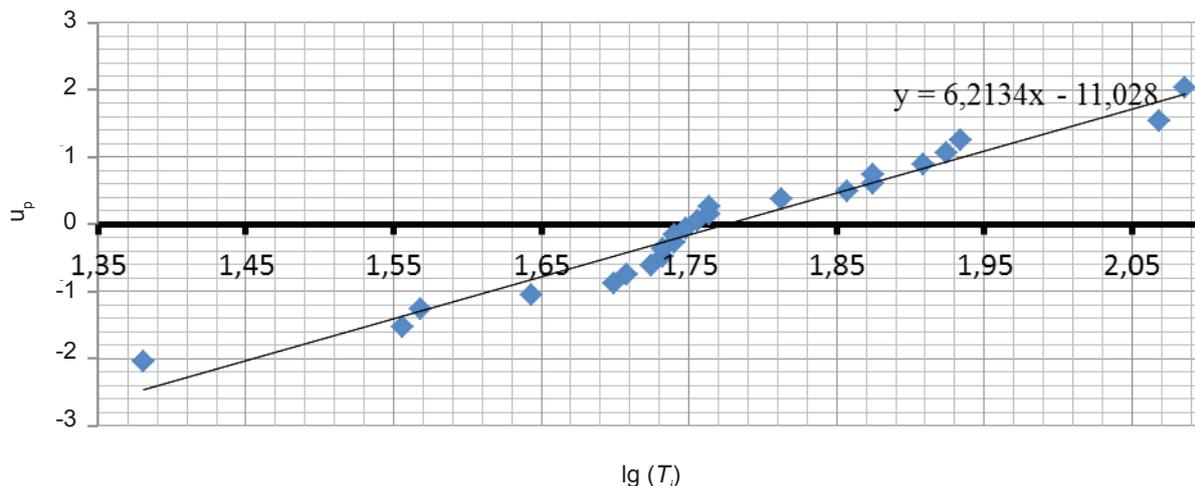
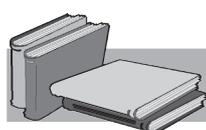


Рис. 4. Зависимость квантиля логнормального распределения (фактическая (♦) и теоретическая (—))



ЛИТЕРАТУРА

1. Казанский М. Ф., Антипов В. М., Балон И. Д. Повышение эффективности отсева коксовой мелочи на грохотах // *Металлург*, 1971. – № 4. – С. 3-5.
2. Концепция формирования характеристик крупности шихтовых материалов аглодоменного производства (Сообщение № 1) / А. Д. Учитель, В. В. Севернюк, В. И. Большаков, В. П. Лялюк // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1999. – № 1. – С. 5-7.
3. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества надежности – М.: Сов. Радио, 1962. – 552 с.

Анотація

Пелих І. В., Петренко В. О.

Дослідження експлуатаційної надійності вібраційного грохота калібрування коксу в технологічних процесах шихтопідготовки доменного цеху ПАТ «ЄВРАЗ – ДМЗ ім. Петровського»

Знайдено закони розподілу термінів служби сит вібраційних грохотів, які проводять відсів (калібрування) некондиційних фракцій коксового дріб'язку з доменного коксу, безпосередньо перед його подачею в доменну піч. Розглянуто умови експлуатації, види і основні причини відмов у роботі вібраційних грохотів калібрування коксу, які використовуються в сучасних системах шихтопідготовки доменного виробництва

Ключові слова

фракціонування, вібраційний грохот, коксовий дріб'язок, калібрування коксу, сито, логнормальний закон, функція розподілу, експлуатаційна надійність

Summary

Pelykh I. V., Petrenko V. A.

Investigation the operational reliability of vibrating screens for calibration coke used in the technological process of preparation the charge of blast furnase shop EVRAZ – DMP nam. Petrovsky

Found distribution laws tenure sieve vibrating screens produced screenings (calibration) substandard coke fines fractions of coke, just before it is fed into the blast furnace. The conditions of operation, types and underlying causes of failures of vibrating screens calibration coke used in modern systems shihtopodgotovki blast furnace production.

Keywords

fractionation, vibrating screen, coke breeze, coke calibration, screen, lognormal law, distribution function, operational reliability

Поступила 11.04.14