

УДК 669.015.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГАЗООТСОСА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

Еронько С.П.¹, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механическое оборудование заводов
черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я. (ersp@meta.ua)

Горбатюк С.М.², д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Инжиниринг технологического
оборудования» (sgor02@mail.ru)

Ткачев М.Ю.¹, к.т.н., доцент кафедры «Механическое оборудование заводов
черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я. (mishel-tkachev@ya.ru)

Ошовская Е.В.¹, к.т.н., доцент кафедры «Механическое оборудование заводов
черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я. (evo2008@bk.ru)

¹ Донецкий национальный технический университет
(83001, Украина, Донецк, ул. Артема, 58)

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. В результате обследования систем газоотсоса малотоннажных электродуговых печей (от 3 до 10 т), эксплуатируемых в литейных цехах машиностроительных предприятий, выявлены узкие места, из-за которых в производственные помещения попадает значительное количество газопылевых выделений, загрязняющих воздух в рабочих зонах. В первую очередь это связано с несовершенством конструктивных схем систем эвакуации газа и пыли, выбрасываемых из полости печи через выпускной канал, рабочее окно, зазоры между ее корпусом и сводом, а также между кромками отверстий в верхней его части и опущенными через них электродами. В частности, узлы сочленения улавливающих поворотных зонтов с газоотводящими трубопроводами в этих системах не обеспечивают надлежащей герметизации подвижных соединений. В связи с этим авторами предложена усовершенствованная конструкция механизма поворота зонтика печи, предусматривающая применение двух песочных затворов, устраняющих возможность выхода в окружающую среду вредных выделений между подвижно сочлененными элементами системы. Для начала проектирования промышленного образца модернизированного механизма разработана методика расчета энергосиловых параметров его привода. Предварительная проверка правильности принятых технических решений и корректности полученных расчетных зависимостей выполнена на действующей модели исследуемой системы, изготовленной в масштабе 1:10 по отношению к промышленному образцу. В ходе модельных исследований с использованием контрольно-измерительного комплекса, включавшего тензорезисторный преобразователь, усилитель переменного тока, аналого-цифровой преобразователь и ЭВМ, зафиксирована нагрузка, действующая на привод модели механизма поворота зонтика при его переводе из рабочей позиции в положение парковки и обратно. При этом нагрузку измеряли для двух случаев: при отсутствии и наличии песка в затворах, обеспечивающих герметизацию подвижно сочлененных элементов исследуемой механической системы. Установлено, что доля сил сопротивления, возникающих в двух песочных затворах при относительном повороте подвижного элемента, составляет 20 – 26 % от общей нагрузки на привод механизма в зависимости от угловой скорости консоли с зонтом. Значение данного показателя, рассчитанное по полученным теоретическим зависимостям, находилось в пределах 17 – 23 % для механизмов поворота зонтика дуговых печей тоннажностью от 3 до 10 т. Видеосъемка картин движения потоков дыма, истекающего из модели печи через имеющиеся зазоры между ее корпусом и сводом при имитации сталеплавления процесса, подтвердила надежность функционирования песочных затворов, обеспечивающих полную герметизацию в узлах сочленения элементов механизма поворота зонтика. Практическое использование предложенного технического решения позволит повысить эффективность эвакуации вредных газопылевых выделений из рабочей зоны плавильных печей, используемых в литейном производстве.

Ключевые слова: электродуговая печь, система газоотсоса, песчаный затвор, физическая модель, привод, момент сил сопротивления, мощность.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-1-34-41

При разработке новых технологий и оборудования [1 – 15] весьма актуальными являются технические решения, направленные на минимизацию загрязнения окружающей среды. Для электродуговых печей, эксплуатируемых в литейных цехах машиностроительных предприятий, необходимость модернизации систем газоотсоса обусловлена превышением допустимых норм по содержанию вредных включений в рабочих зонах, что связано с моральным

и физическим износом соответствующего оборудования, введенного в строй несколько десятков лет назад [16 – 21].

Как известно, эвакуацию газопылевых выделений из электродуговых печей тоннажностью 3 – 10 т, применяемых в литейном производстве, осуществляют с помощью систем, включающих улавливающий зонт, отводящий газопровод, тканевый фильтр, дымосос и вертикальную дымовую трубу [22 – 25].

Специалистами проведены обследования систем газоотсоса электропечей на нескольких машиностроительных предприятиях Российской Федерации и Украины с целью выявления «узких мест», наличие которых не позволяет обеспечить в литейных цехах требуемую чистоту воздуха. В результате установлено, что наибольший объем газа и пыли попадает в промышленное помещение из-за несовершенства конструкции поворотного зонта, расположенного над плавильной печью и полностью перекрывающего в плане ее свод. При этом главной конструктивной недоработкой зонта является узел подвижного сочленения его корпуса с входом газоотводящего трубопровода. Использование для этих целей гибкого рукава из теплостойкой ткани или металлической гильзы, несущей полую консоль с зонтом и имеющей возможность поворота относительно вертикального трубчатого элемента газопровода, не позволяет достичь надежной герметичности подвижных соединений элементов системы, что приводит к заметному снижению эффективности ее функционирования [26 – 29].

В связи с этим авторами настоящей статьи выполнена работа, направленная на усовершенствование поворотного зонта за счет применения в нем специальных затворов, исключающих выход в окружающее пространство газопылевой смеси в местах расположения подвижных соединений его составных элементов.

В соответствии с поставленной целью исследования и с учетом имевшегося опыта проектирования подобных устройств [30 – 32] предложена усовершенствованная система поворотного зонта, схематично представленная на рис. 1. Она включает колпак 16,

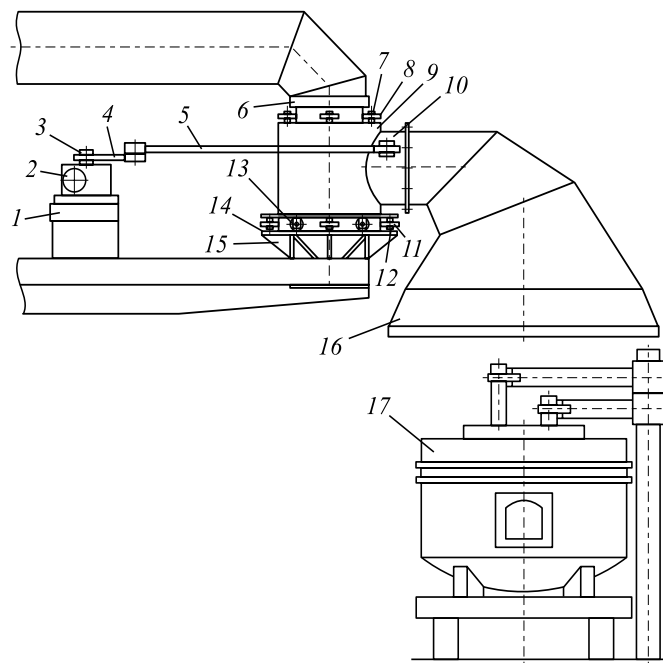


Рис. 1. Общий вид зонта с механизмом поворота

Fig. 1. General view of the collection hood with rotation mechanism

соосно расположенный над печью 17 и закрепленный на пустотелой консоли 10 с возможностью поворота вокруг оси несущей колонны 6. Поворот зонта на угол 90° осуществляют с помощью кривошипно-рычажного механизма, установленного на платформе 1, смонтированной на требуемой высоте рядом с колонной 6. Механизм поворота содержит червячный мотор-редуктор 2 с вертикальным тихоходным валом 3, на хвостовике которого установлен кривошип 4, передающий усилие рычагу 5, шарнирно связанному с пустотелой консолью 10. Сама консоль жестко соединена с гильзой 9, охватывающей несущую колонну 6. Верхний и нижний торец гильзы 9, как показано на рис. 2, снабжены соответственно фланцами 24 и 19, имеющими цилиндрические фартуки 22 и 20. Эти фартуки помещены в кольцевые емкости, образованные фланцами 21 и 18, приваренными с обеспечением герметичности швов соответственно к несущей колонне 6 и кольцевой платформе 14. При этом обе кольцевые емкости заполнены сухим песком 23, выполняющим роль затвора, устраняющего как подсос воздуха в газоотводящий тракт, так и выход из него газа и пыли в окружающее пространство. В стенке несущей колонны между фланцами гильзы со стороны дуговой печи выполнено отверстие, форма и размеры которого соответствуют проходному сечению полой консоли 10. На верхнем фланце гильзы по периметру с одинаковым шагом закреплены четыре вертикально расположенные оси 7 с установленными на них центрирующими роликами 8, контактирующими с наружной поверхностью несущей колонны 6. В свою очередь на нижнем фланце гильзы на осях 12 аналогично закреплены четыре центрирующих ролика 11, а между ними дополнительно четыре вертикально расположенных ролика 13, которыми гильза опирается на коль-

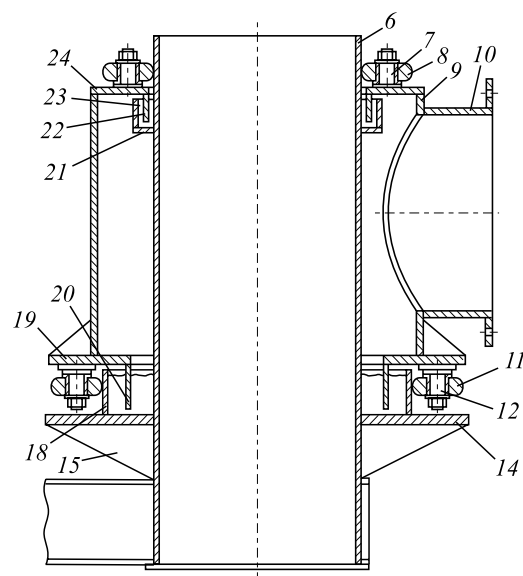


Рис. 2. Конструктивное исполнение песчаных затворов поворотного зонта

Fig. 2. Design of the sand gates of a rotary collection hood

цевую платформу 14 посредством косынок 15, жестко закрепленную на нижней части несущей колонны 6. Наличие у гильзы 9 центрирующих 8, 11 и опорных 13 роликов минимизирует нагрузку на привод механизма поворота зонта.

Выполнению проектирования промышленного образца модернизированного зонта с предложенным вариантом герметизации подвижных сочленений предшествовала разработка методики расчета энергосиловых параметров механизма его поворота.

В соответствии с расчетной схемой, показанной на рис. 3, суммарный статический момент сопротивления M_c повороту гильзы с зонтом включает несколько составляющих:

$$M_c = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5, \quad (1)$$

где M_1 – момент сил сопротивления, действующих на гильзу при ее повороте со стороны верхних центрирующих роликов, находящихся в контакте с наружной цилиндрической поверхностью несущей колонны; M_2 – момент сил сопротивления, действующих на гильзу при ее повороте со стороны нижних центрирующих роликов, находящихся в контакте с наружной цилиндрической поверхностью нижней кольцевой емкости, жестко связанной с несущей колонной через кольцевую платформу; M_3 – момент сил сопротивления, действующих на гильзу при ее повороте со стороны опорных роликов, контактирующих с горизонтальной поверхностью кольцевой платформы; M_4 и M_5 – моменты сил трения, действующих соответственно на поверхности верхнего и нижнего кольцевых фартуков при их поворотном движении в слое песка.

Для расчета первых трех составляющих статического момента сопротивления, преодолеваемого приводом

при функционировании поворотной системы зонта, необходимо предварительно найти реакции в центрирующих опорах $R_{ц0}$ и равнодействующую реакций в поддерживающей опоре $R_{п0}$ гильзы, используя систему двух уравнений:

$$\sum F_{z_i} = 0; R_{ц0} - G_r - G_k - G_3 = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_{O_1} = 0; R_{ц0}h - G_kx_2 - G_3x_3 = 0. \quad (3)$$

Откуда $R_{п0} = G_r + G_k + G_3$; $R_{ц0} = \frac{G_kx_2 + G_3x_3}{h}$. Тогда

$$M_1 = R_{ц0} \left(\frac{\mu d_{ц} + 2k}{D_{ц}} \right) \frac{d_{вр}}{2}; \quad M_2 = R_{ц0} \left(\frac{\mu d_{ц} + 2k}{D_{ц}} \right) \frac{d_{нр}}{2}.$$

В этих выражениях μ – коэффициент трения скольжения; $d_{ц}$ – диаметр оси, на которой размещен центрирующий ролик; k – коэффициент трения качения; $D_{ц}$ – наружный диаметр центрирующего ролика; $d_{вр}$ и $d_{нр}$ – соответственно диаметры окружностей, на которых расположены центры осей вращения верхних и нижних центрирующих роликов.

Соответственно $M_3 = R_{п0} \left(\frac{\mu d_o + 2k}{D_o} \right) \frac{d_{нр}}{2}$. Здесь d_o – диаметр оси, на котором установлен опорный ролик; D_o – наружный диаметр опорного ролика.

При определении последних двух составляющих момента сопротивления, препятствующих повороту гильзы, воспользуемся поясняющей схемой, приведенной на рис. 3. На этой схеме обозначена глубина погружения кольцевого фартука в слой песка $h_{сп}$, внутренний диаметр фартука $d_{ф}$ и его толщина δ .

Давление столба сыпучего материала

$$P_{см} = \rho_n g h_{сп}, \quad (4)$$

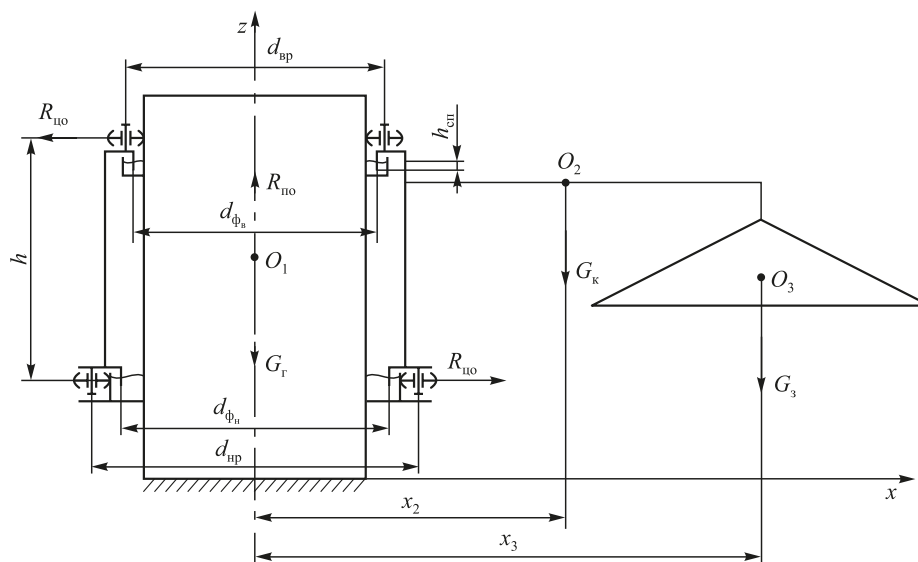


Рис. 3. Расчетная схема привода механизма поворота зонта системы газоотсоса электродуговой печи литейного цеха

Fig. 3. Calculation scheme of the drive for rotation mechanism of collection hood of EAF gas exhaust system in foundry shop

где ρ_n – насыпная плотность песка; g – ускорение силы тяжести.

На внутреннюю и наружную поверхности кольцевого фартука, заглубленные в слой песка, действует давление, среднее значение которого

$$P_c = 0,5 P_{cm} k_\phi, \quad (5)$$

где k_ϕ – коэффициент бокового давления, равный 0,30 – 0,35.

Сила, с которой песок воздействует на стенки фартука

$$F_n = P_c \left[\pi d_\phi h_{cp} + \pi (d_\phi + 2\delta) h_{cp} \right]. \quad (6)$$

При поворотном движении фартука в слое песка возникает сила трения

$$F_{тр} = F_n k_{мп}, \quad (7)$$

где $k_{мп}$ – коэффициент трения скольжения между поверхностью фартука и слоем песка.

Тогда моменты сил трения, тормозящих гильзу в верхнем и нижнем кольцевых песочных затворах

$$M_4 = F_{тр} \frac{d_{\phi_n}}{2}; \quad M_5 = F_{тр} \frac{d_{\phi_n}}{2}, \quad (8, 9)$$

где d_{ϕ_n} и d_{ϕ_n} – диаметры верхнего и нижнего кольцевых фартуков.

Динамический момент при пуске привода

$$M_d = J\varepsilon, \quad (10)$$

где J – суммарный момент инерции системы относительно оси z ; ε – угловое ускорение системы при времени ее разгона t_p .

Суммарный момент инерции системы относительно оси z

$$J = \sum (J_{C_i} + m_i x_i^2), \quad (11)$$

где J_{C_i} – момент инерции структурного элемента системы относительно оси, проходящей через его центр массы; m_i – масса структурного элемента; x_i – удаление центра тяжести структурного элемента от оси z .

Угловое ускорение системы

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t_p}, \quad (12)$$

где ω – заданная угловая скорость поворота подвижной части системы, c^{-1} .

Статическая мощность привода

$$N_c = \frac{M_c \omega}{\eta_m}, \quad (13)$$

где η_m – коэффициент полезного действия механизма.

Общее передаточное число привода механизма поворота зонта

$$i_o = i_{pm} i_{mr} = \frac{\omega_{дв}}{\omega}, \quad (14)$$

где i_{pm} – передаточное число рычажного механизма; i_{mr} – передаточное число мотор-редуктора; $\omega_{дв}$ – угловая скорость вала электродвигателя, c^{-1} .

Выбранный по каталогу двигатель следует проверить на пусковую способность:

$$\frac{M_c + M_d}{M_n i_o} \leq \lambda, \quad (15)$$

где M_n и λ – паспортное значение номинального момента и средняя кратность пускового момента выбранного двигателя.

Для проверки правильности принятых технических решений и корректности полученных расчетных зависимостей провели лабораторные эксперименты на изготовленном в масштабе 1:10 модельном комплексе, включавшем действующие физические модели всех структурных единиц системы газоотсоса 8-т дуговой сталеплавильной печи (рис. 4, а).

В соответствии с планом эксперимента, изучили характер изменения нагрузок, действующих в звеньях рычажного механизма модели зонта при его переводе из рабочей позиции в исходную и обратно. Также установили долю приращения момента сопротивления повороту зонта, обусловленного силой трения элементов цилиндрических фартуков, возникающей при их повороте в слое песка, выполняющего функцию затвора. Контроль указанных силовых показателей осуществили с использованием измерительного комплекса, собранного в соответствии с рекомендациями работы [33] и включавшего тензорезисторный преобразователь, усилитель переменного тока, аналого-цифровой преобразователь и ЭВМ с печатающим устройством. В качестве тензорезисторного преобразователя служил рычаг, передающий усилие от кривошипа пустотелой консоли. Для этого на его плоские поверхности вдоль продольной оси симметрии были наклеены два фольговых тензодатчика сопротивлением 200 Ом, подключенные к усилителю по полумостовой схеме с помощью экранированного кабеля. Снимаемый с полумоста сопротивления электрический сигнал, возникающий при растяжении или сжатии рычага под действием передаваемой им силы, после усиления и преобразования в цифровой код поступал в системный блок ЭВМ. Далее обрабатывался с помощью специальной прикладной программы, и на экран монитора выводилось визуальное отображение изменяющегося во времени значения регистрируемой нагрузки с последующей распечаткой на принтере построенного графика.

С использованием данного контрольно-измерительного комплекса провели серию измерений продольной нагрузки, действующей на рычаг при отсутствии и на-

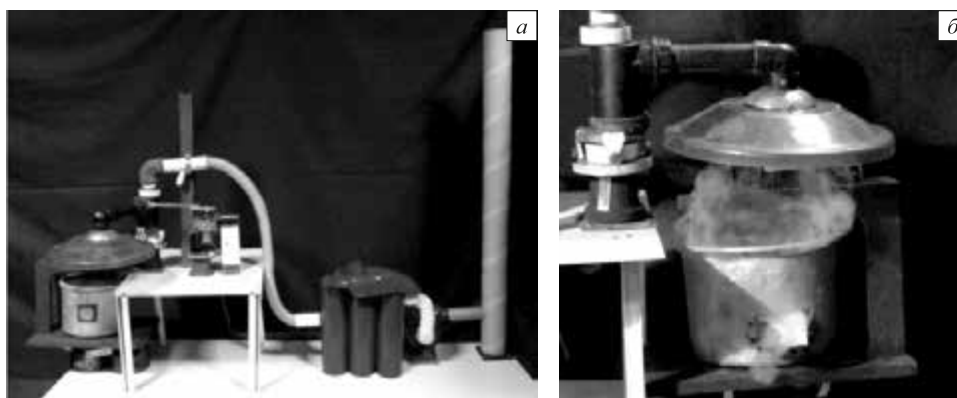


Рис. 4. Общий вид модельного комплекса модернизированной системы газоотсоса электродуговой печи (а) и картина движения потоков дыма, истекающего из нее при имитации сталеплавильного процесса (б)

Fig. 4. General view of the model complex of modernized gas exhaust system of EAF (a) and picture of the smoke streams movement which outflows from it during steelmaking process imitating (b)

линии сухого песка, обеспечивающего герметизацию подвижных сочленений несущей колонны с охватывающей ее гильзой, жестко связанной с пустотелой консолью, удерживающей на свободном конце зонт.

Перед началом расшифровки зарегистрированных сигналов, отображаемых в кодах аналого-цифрового преобразователя, выполнили тарировку тензорезисторного преобразователя. После статистической обработки ее результатов по методике, рекомендованной в работе [34], построили график тарировочной зависимости, а также установили погрешность используемого метода измерений, которая не превышала 10 %.

Декодирование с помощью графика тарировки данных, зафиксированных при эксперименте, показало, что суммарная сила сопротивления, возникающая из-за трения в верхнем и нижнем песчаных затворах при повороте зонты, составляет 20 – 26 % от общей технологической нагрузки, преодолеваемой приводом исследуемого механизма.

Данные расчета значений составляющих суммарного статического момента сопротивления повороту гильзы, выполненного по предлагаемой методике для промышленных образцов механизма (см. таблицу), свидетельствуют о том, что общая доля моментов M_4 и M_5 , вызванных трением в песчаных затворах, может

достигать 17 – 23 % от суммарного значения M_c . Таким образом, соотношения между учитываемыми составляющими нагрузки на привод исследуемого механизма, определенные расчетом и экспериментальным путем, достаточно близки между собой.

Наряду с измерениями нагрузок, действующих на элементы модели механизма поворота зонты печи, осуществляли видеофиксацию картин распределения потоков дыма, истекающего из ее полости через имеющиеся зазоры между корпусом и сводом при имитации сталеплавильного процесса. Для этого в рабочее пространство модели печи под небольшим давлением подавали от специального генератора дым, который при выходе через выпускной канал, а также зазоры, образованные кромками отверстий в своде и опущенными электродами, увлекался под зонт и далее по отводящему трубопроводу поступал к вертикальной трубе за счет разрежения, создававшегося дымососом. Просмотр видеозаписей в динамике и в режиме «стоп-кадр» (рис. 4, б) показал, что весь объем дыма, выходящего из модели печи через зазоры, эвакуировался из рабочей зоны. При этом протечек дыма в местах расположения песчаных затворов поворотного зонты в окружающее пространство не было, т. е. обеспечивалась надежная герметизация в узлах его подвижных сочленений.

Расчетные значения параметров привода механизма поворота зонты для малотоннажных дуговых печей

Estimated values of the drive parameters of the collection hood rotation mechanism for low-tonnage arc furnaces

Тоннаж печи, т	Основные размеры элементов механизма, мм					Сила тяжести элементов механизма, Н			Значения составляющих момента сопротивления повороту зонты, Н·м					M_c , Н·м	ω , с ⁻¹	N_c , кВт
	$d_{вр}$	$d_{пр}$	h	x_2	x_3	G_r	G_k	G_3	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5			
3	800	1000	960	1200	2300	1960	1350	1650	56	70	62	24	31	243	0,5	0,22
5	800	1000	1050	1320	2450	1960	1500	1800	61	76	66	24	31	258	0,5	0,22
8	1000	1300	1200	1500	2600	2940	2200	2500	102	133	124	37	46	442	0,4	0,32
10	1000	1300	1320	1600	2850	2940	2450	2900	115	150	134	37	46	482	0,4	0,32

Информация, полученная в ходе проведенных исследований, использована при подготовке рабочего проекта реконструкции системы газоотсоса 8-т дуговой печи.

Выводы. Практическое использование результатов выполненных теоретических и экспериментальных исследований позволит провести модернизацию устаревших систем газоотсоса малотоннажных электродуговых печей, эксплуатируемых в литейных цехах машиностроительных предприятий, благодаря чему снизится количество газопылевых выделений в рабочие зоны во время ведения технологического процесса в плавильных агрегатах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Eronko S.P., Gorbatyuk S.M., Oshovskaya E.V., Starodubtsev B.I. New engineering solutions in creation of mini-BOF for metallic waste recycling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 287 (1). Article no. 012004.
2. Еронько С.П., Горбатюк С.М., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И. Разработка автоматической системы газодинамической отсечки конечного шлака для конвертера с вращающимся корпусом // Изв. вуз. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 11. С. 863 – 869.
3. Еронько С.П., Ошовская Е.В., Ткачев М.Ю. Исследование и совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слывовой МНЛЗ // Изв. вуз. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 1. С. 49 – 56.
4. Keropyan A.M., Kantovich L.I., Voronin B.V. etc. Influence of uneven distribution of coupling mass on locomotive wheel pairs, its tractive power, straight and curved sections of industrial rail tracks // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. No. 6. Article no. 062005.
5. Керопян А.М., Герасимова А.А. Связь температуры в зоне контакта системы колесо – рельс с уклоном рельсового пути промышленного железнодорожного транспорта // Изв. вуз. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 5. С. 355 – 363.
6. Bardovskiy A.D., Gorbatyuk S.M., Keropyan A.M., Bibikov P.Y. Assessing parameters of the accelerator disk of a centrifugal mill taking into account features of particle motion on the disk surface // Journal of Friction and Wear. 2018. Vol. 39. No. 4. P. 326 – 329.
7. Bardovsky A., Gerasimova A., Aydunbekov A. The principles of the milling equipment improvement // MATEC Web of Conferences. 2018. No. 224. Article no. 01019.
8. Gorbatyuk S., Kondratenko V., Sedykh L. Tool stability analysis for deep hole drilling // MATEC Web of Conferences. 2018. No. 224. Article no. 01035.
9. Gerasimova A., Gorbatyuk S., Devyatirova V. Application of gas-thermal coatings on low-alloyed steel surfaces // Solid State Phenomena. 2018. No. 284 SSP. P. 1284 – 1290.
10. Zarapin A.Yu., Shur A.I., Chichenev N.A. Improvement of the unit for rolling aluminum strip clad with corrosion-resistant steel // Steel in Translation. 1999. Vol. 29. No. 10. P. 69 – 71.
11. Зарапин А.Ю., Станишевский С.Э., Чиченев А.Н. Линия для непрерывного получения полос с газотермическим покрытием из никелевых сплавов // Тяжелое машиностроение. 1999. № 6. С. 16 – 20.
12. Зарапин А.Ю., Чиченев А.Н. Проектирование линий для производства композиционных материалов на основе объектно-ориентированного подхода // Тяжелое машиностроение. 1999. № 6. С. 21 – 25.
13. Gorbatyuk S.M., Gerasimova A.A., Belkina N.N. Applying thermal coatings to narrow walls of the continuous-casting molds // Materials Science Forum. 2016. No. 870. P. 564 – 567.
14. Пименов Г.А., Костюков Г.А., Рябов В.Д., Кобелев О.А. Изготовление крупногабаритных толстолистовых заготовок методомковки // Тяжелое машиностроение. 1991. № 9. С. 21 – 24.
15. Koblelev O.A., Tsepin M.A., Skripalenko M.M., Popov V.A. Features of technological layout of manufacture of unique mono-block large-dimension plates // Advanced Materials Research. 2009. Vol. 59. P. 71 – 75.
16. Сталинский Д.В., Пирогов А.Ю., Швеи М.Н. и др. Газоочистка малотоннажных электросталеплавильных печей в литейном цехе // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2016. № 6. С. 100 – 105.
17. Рахметова Э.Р. Разработка системы очистки отходящих газов от электродуговых печей литейного цеха и мер повышения экологичности производства // Всероссийский форум научной молодежи «Богатство России»: Сб. докладов. – М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 275 – 276.
18. Павлович Л.Б., Садыхова В.В., Шульдишева Д.А. Оценка экологического риска от выбросов литейного производства в атмосферу // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 4 (10). С. 52 – 55.
19. Речкалов А.В., Зинуров И.Ю., Кузьмин М.Г. и др. Основные требования к дуговым печам, выплавляющим металл для производства литья // Электрометаллургия. 2014. № 11. С. 2 – 5.
20. Malinovskiy V.S. Technical-economical results of industrial realization of direct current arc furnaces of new generation // CIS iron and steel review. 2014. No. 9. P. 4 – 19.
21. Крутянский М.М., Нехамин С.М., Ребиков Е.М. Расчет газовыделений из дуговых печей постоянного и переменного тока в литейном цехе // Электрометаллургия. 2016. № 7. С. 27 – 34.
22. Ладыгичев М.Г., Чижилова В.М. Сырье для черной металлургии: Справочное издание: В 2-х томах. Том. 2. Экология металлургического производства. – М.: Теплотехник, 2005. – 448 с.
23. Krutyanskii M.M., Nekhamin S.M., Rebikov E.M. Calculation of gas release from DC and AC arc furnaces in a foundry // Russian metallurgy (Metally). 2016. No. 12. P. 1119 – 1124.
24. Barkan M.S., Kovshov V.P. Calculation of harmful impurities formation and the technology of cupola dust-and-gas emission intensive cyclone cleaning from solids and gaseous components // Global journal of pure and applied mathematics. 2016. No. 3. P. 2323 – 2333.
25. Gudim Yu.A., Zinurov I.Yu., Kiselev A.D. etc. Rational methods for the intensification of melting in modern arc steel-melting furnaces // Russian metallurgy (Metally). 2008. No. 8. P. 651 – 654.
26. Маляров А.И. Печи литейных цехов. – М.: Машиностроение, 2014. – 256 с.
27. Соловьев В.П., Гладышев С.А., Воронцов В.И. Проектирование новых и реконструкция действующих литейных цехов: Учеб. пособие. – М.: МИСиС, 2004. – 227 с.
28. Elizarov K.A., Krutyanskii M.M., Nekhamin I.S. etc. New trends in the development of dc arc furnaces // Russian metallurgy (Metally). 2014. No. 6. P. 443 – 448.
29. Дробитько М.Ю., Болдин А.Н., Яковлев А.И. и др. Системы очистки отходящих газов плавки и их использование в литейном производстве. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 198 с.
30. Artiukh V., Mazur V., Prakash R. Increasing hot rolling mass of steel sheet products // Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. P. 3 – 8.
31. Artiukh V., Mazur V., Adamtsevich A. Priority influence of horizontal forces at rolling on operation of main sheet rolling equipment // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 106. Article no. 04001.
32. Artiukh V., Mazur V., Pokrovskaya E. Influence of strip bite time in work rolls gap on dynamic loads in strip rolling stands // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. Article no. 01030.
33. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: Учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2011. – 56 с.
34. Болтян А.В. Горобец И.А. Теория инженерных исследований. – Севастополь: Вебер, 2001. – 139 с.

Поступила в редакцию 10 декабря 2018 г.
После доработки 14 декабря 2018 г.
Принята к публикации 22 декабря 2018 г.

DESIGN IMPROVEMENT AND OPERATION MODELING OF EAF GAS EXHAUST SYSTEM OF A FOUNDRY SHOP

S.P. Eron'ko¹, S.M. Gorbatyuk², M.Yu. Tkachev¹,
E.V. Oshovskaya¹

¹ Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

² National University of Science and Technology "MISIS" (MISIS),
Moscow, Russia

Abstract. As a result of a survey of gas exhaust systems of low-tonnage electric arc furnaces (from 3 to 10 tons) operated in the foundries of machine-building enterprises, the bottlenecks were identified, due to which a large amount of gas-dust emissions gets into the production rooms and pollutes the air in the working areas. First of all, it occurs due to the design schemes imperfection of the evacuation systems of gas and dust ejected from the furnace cavity through the outlet channel, the working window, gaps between its body and the roof, between edges of the holes in its upper part and the electrodes lowered through them. In particular, joint units of the rotary collection hoods with the gas exhaust pipelines in these systems do not provide proper sealing of movable joints. In this regard, the authors have proposed an improved design of rotation mechanism of the furnace collection hood, which involves the use of two sand gates. These gates eliminate the possibility of harmful emissions release between movably connected elements of the system into the environment. To begin designing of the industrial sample of a modernized mechanism, a method for calculating the energy-power parameters of its drive has been developed. A preliminary validation of the correctness of the taken technical decisions and of the obtained calculating dependencies was performed on the operating model of the investigated system manufactured on a 1:10 scale relative to the industrial sample. For the model research an instrumentation complex that included strain gauge transducer, AC amplifier, analog-to-digital converter and computer was used. During this research the load acting on the model drive of the collection hood rotation mechanism when it was transferred from the working position to the parking one and back was fixed. At the same time, the load was measured for two cases: in the absence and in the presence of sand in the gates which ensure sealing of the movably joint elements of the investigated mechanical system. It was established that the portion of resistance forces arising in two sand gates during relative rotation of the moving element is 20 – 26 % of total load on the mechanism drive depending on angular velocity of the cantilever with collection hood. Similarly, this indicator calculated from obtained theoretical dependences was in the range of 17 – 23 % for the rotation mechanisms of collection hood of arc furnaces with a tonnage of 3 to 10 tons. Video filming of the smoke movement patterns, which flows from the furnace model through the existing gaps between its body and roof during the steel-making process imitating, confirmed the reliability of the sand gates that provide complete sealing at the joint units of the moving parts of the collection hood rotation mechanism. Practical use of the proposed technical solution allows increasing of efficiency of evacuation of the harmful gas and dust emissions from the working zone of smelting furnaces used in the foundry.

Keywords: electric arc furnace, gas exhaust system, sand gate, physical model, drive, moment of resistance forces, power.

DOI: 10.17073/0368-0797-2019-1-34-41

REFERENCES

1. Eronko S.P., Gorbatyuk S.M., Oshovskaya E.V., Starodubtsev B.I. New engineering solutions in creation of mini-BOF for metallic waste recycling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, 287 (1), article no. 012004.
2. Eron'ko S.P., Gorbatyuk S.M., Oshovskaya E.V., Starodubtsev B.I. Development of automatic system of gas-dynamic cut-off of slag for converter with rotating vessel shell. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Chernaya Metallurgiya*. 2017, vol. 60, no. 11, pp. 863–869. (In Russ.).
3. Eron'ko S.P., Oshovskaya E.V., Tkachev M.Yu. Fast replacement of submersible tundish nozzles in a continuous slab-casting machine. *Steel in Translation*. 2016, vol. 46, no. 1, pp. 33–38.
4. Keropyan A.M., Kantovich L.I., Voronin B.V., Kuziev D.A., Zotov V.V. Influence of uneven distribution of coupling mass on locomotive wheel pairs, its tractive power, straight and curved sections of industrial rail tracks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 87, no. 6, article no. 062005.
5. Keropyan A.M., Gerasimova A.A. Connection of the temperature in contact area of the wheel-rail system with the railway slope of industrial railway transport. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Chernaya Metallurgiya*. 2017, vol. 60, no. 5, pp. 355–363. (In Russ.).
6. Bardovskiy A.D., Gorbatyuk S.M., Keropyan A.M., Bibikov P.Y. Assessing parameters of the accelerator disk of a centrifugal mill taking into account features of particle motion on the disk surface. *Journal of Friction and Wear*. 2018, vol. 39, no. 4, pp. 326–329.
7. Bardovsky A., Gerasimova A., Aydunbekov A. The principles of the milling equipment improvement. *MATEC Web of Conferences*. 2018, no. 224, article no. 01019.
8. Gorbatyuk S., Kondratenko V., Sedykh L. Tool stability analysis for deep hole drilling. *MATEC Web of Conferences*. 2018, no. 224, article no. 01035.
9. Gerasimova A., Gorbatyuk S., Devyatirova V. Application of gas-thermal coatings on low-alloyed steel surfaces. *Solid State Phenomena*. 2018, no. 284 SSP, pp. 1284–1290.
10. Zarapin A.Yu., Shur A.I., Chichenev N.A. Improvement of the unit for rolling aluminum strip clad with corrosion-resistant steel. *Steel in Translation*. 1999, vol. 29, no. 10, pp. 69–71.
11. Zarapin A.Yu., Stanishvskii S.E., Chichenev A.N. Continuous line for the production of strips with a gas-thermal coating of nickel alloys. *Tyazheloe mashinostroenie*. 1999, no. 6, pp. 16–20. (In Russ.).
12. Zarapin A.Yu., Chichenev A.N. Design of lines for the production of composite materials based on the object-oriented approach. *Tyazheloe mashinostroenie*. 1999, no. 6, pp. 21–25. (In Russ.).
13. Gorbatyuk S.M., Gerasimova A.A., Belkina N.N. Applying thermal coatings to narrow walls of the continuous-casting molds. *Materials Science Forum*. 2016, no. 870, pp. 564–567.
14. Pimenov G.A., Kostyukov G.A., Ryabov V.D., Kobelev O.A. Production of large-sized solid-forged blanks. *Tyazheloe mashinostroenie*. 1991, no. 9, pp. 21–24. (In Russ.).
15. Kobelev O.A., Tsepin M.A., Skripalenko M.M., Popov V.A. Features of technological layout of manufacture of unique monoblock large-dimension plates. *Advanced Materials Research*. 2009, vol. 59, pp. 71–75.
16. Stalinskii D.V., Pirogov A.Yu., Shvets M.N. etc. Gas cleaning of low-tonnage electric steel-smelting furnaces in the foundry. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2016, no. 6, pp. 100–105. (In Russ.).
17. Rakhmetova E.R. Development of a system for cleaning exhaust gases from electric arc furnaces of the foundry shop and measures to improve the environmental friendliness of production. In: *Vserossiiskii forum nauchnoi molodezhi "Bogatstvo Rossii": Sb. dokladov [All-Russian Forum of Sci. Youth "The Wealth of Russia": Coll. of works]*. Moscow: MG TU im. N.E. Bauman, 2018, pp. 275–276. (In Russ.).

18. Pavlovich L.B., Sadykhova V.V., Shul'disheva D.A. Environmental risk assessment of foundry emissions into the atmosphere. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2014, no. 4 (10), pp. 52–55. (In Russ.).
19. Rechkalov A.V., Zinurov I.Yu., Kuz'min M.G. etc. Basic requirements to the arc furnaces smelting metal for casting. *Elektrometallurgiya*. 2014, no. 11, pp. 2–5. (In Russ.).
20. Malinovskiy V.S. Technical-economical results of industrial realization of direct current arc furnaces of new generation. *CIS iron and steel review*. 2014, no. 9, pp. 4–19.
21. Krutyanskii M.M., Nekhamin S.M., Rebikov E.M. Calculation of gas emissions from DC and AC arc furnaces in the foundry shop. *Elektrometallurgiya*. 2016, no. 7, pp. 27–34. (In Russ.).
22. Ladygichev M.G., Chizhikova V.M. *Syr'e dlya chernoi metallurgii: Spravochnoe izdanie: v 2-kh t. Tom. 2. Ekologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Raw materials for ferrous metallurgy: Reference ed.: in 2 Vols. Vol. 2. Ecology of metallurgical production]. Moscow: Teplotekhnika, 2005, 448 p. (In Russ.).
23. Krutyanskii M.M., Nekhamin S.M., Rebikov E.M. Calculation of gas release from DC and AC arc furnaces in a foundry. *Russian metallurgy (Metally)*. 2016, no. 12, pp. 1119–1124.
24. Barkan M.S., Kovshov V.P. Calculation of harmful impurities formation and the technology of cupola dust-and-gas emission intensive cyclone cleaning from solids and gaseous components. *Global journal of pure and applied mathematics*. 2016, no. 3, pp. 2323–2333.
25. Gudim Yu.A., Zinurov I.Yu., Kiselev A.D. etc. Rational methods for the intensification of melting in modern arc steel-melting furnaces. *Russian metallurgy (Metally)*. 2008, no. 8, pp. 651–654.
26. Malyarov A.I. *Pechi liteinykh tsekhov* [Foundry furnaces]. Moscow: Mashinostroenie, 2014, 256 p. (In Russ.).
27. Solov'ev V.P., Gladyshev S.A., Vorontsov V.I. *Proektirovanie novykh i rekonstruktsiya deistvuyushchikh liteinykh tsekhov: uchebnoe posobie* [Design of new and reconstruction of existing foundries: Tutorial]. Moscow: MISiS, 2004, 227 p. (In Russ.).
28. Elizarov K.A., Krutyanskii M.M., Nekhamin I.S. etc. New trends in the development of DC arc furnaces. *Russian metallurgy (Metally)*. 2014, no. 6, pp. 443–448.
29. Drobit'ko M.Yu., Boldin A.N., Yakovlev A.I. etc. *Sistemy ochkistki otkhodyashchikh gazov plavki i ikh ispol'zovanie v liteinom proizvodstve* [Cleaning systems for smelting gases and their use in the foundry industry]. Moscow: Mashinostroenie-1, 2004, 198 p. (In Russ.).
30. Artiukh V., Mazur V., Prakash R. Increasing hot rolling mass of steel sheet products. *Solid State Phenomena*. 2016, vol. 871, pp. 3–8.
31. Artiukh V., Mazur V., Adamtsevich A. Priority influence of horizontal forces at rolling on operation of main sheet rolling equipment. *MATEC Web of Conferences*. 2017, vol. 106, article no. 04001.
32. Artiukh V., Mazur V., Pokrovskaya E. Influence of strip bite time in work rolls gap on dynamic loads in strip rolling stands. *MATEC Web of Conferences*. 2016, vol. 86, article no. 01030.
33. Mekheda V.A. *Tenzometricheskii metod izmereniya deformatsii: uchebnoe posobie* [Strain gauge method of deformations measuring: Tutorial]. Samara: izd. Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta, 2011, 56 p. (In Russ.).
34. Boltyan A.V. Gorobets I.A. *Teoriya inzhenernykh issledovaniy* [Theory of engineering research]. Sevastopol: Veber, 2001, 139 p. (In Russ.).

Information about the authors:

S.P. Eron'ko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants” named after prof. V.Ya. Sedush (ersp@meta.ua)

S.M. Gorbatyuk, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Engineering of Technological Equipment” (sgor02@mail.ru)

M.Yu. Tkachev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants” named after prof. V.Ya. Sedush

E.V. Oshovskaya, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants” named after prof. V.Ya. Sedush

Received December 10, 2018

Revised December 14, 2018

Accepted December 22, 2018