

В.В. Бодряга¹, В.А. Кравец², Ф.В. Недопекин¹

¹ Донецкий национальный университет

² Донбасская национальная академия архитектуры и строительства

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ПРИ СЛИВЕ ЧУГУНА ИЗ МИКСЕРА В КОВШ НА МК «АЗОВСТАЛЬ»

Одним из источников неорганизованных выбросов в конвертерных цехах является процесс слива чугуна из миксера в ковш. Выполнение данной технологической операции сопровождается образованием и выделением значительного количества пыли. Основные составляющие пыли – графитная спель (около 30 %) и бурый дым (около 70 %) [1, 2]. Часть этих выбросов удаляется из цеха, а часть оседает на металлоконструкциях.

Газовые потоки, образующиеся при наполнении ковша жидким чугуном, играют важную роль в процессе образования бурого дыма и формировании факела выбросов из ковша. Поток воздуха доставляет кислород в зону диспергирования струи металла, затем происходит взаимодействие кислорода газовой фазы с брызгами чугуна и образовавшийся в результате этого взаимодействия бурый дым выносится из ковша потоком выбросов в окружающую среду.

Одним из эффективных методов снижения выбросов бурого дыма является подача в ковш нейтрального газа, например, азота. Подавая газ в ковш в период наполнения его чугуном, можно существенно снизить выбросы бурого дыма при условии, что нейтральный газ будет достигать зоны диспергирования струи металла. Однако подача нейтрального газа со значительного расстояния с большой скоростью может привести к дополнительному диспергированию металла и не к снижению,

а к возрастанию выбросов. Если же подавать нейтральный газ с малой скоростью, то возникает опасность, что газ будет уноситься встречным потоком выбросов и не достигнет зоны диспергирования чугуна [3]. Поэтому необходимо подавать нейтральный газ с рациональной скоростью (рис. 1).

Зависимость выражает связь между степенью пылеподавления и управляемыми технологическими и конструктивными параметрами [3]:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{0,25Q^2}{w_{кр}^2 n^2 (0,085ld + 0,145d^2)^2} - \frac{0,81Q}{w_{кр} n (0,085ld + 0,145d^2)} + 1 \right) \times \exp \left(21,655 - \frac{1}{0,04618 - 0,016 \frac{Q}{V}} \right) \times \frac{1}{\sqrt{1 - 0,347 \frac{Q}{V}}}, \quad (1)$$

где ε – степень пылеподавления; $w_{кр}$ – критическая скорость струи нейтрального газа, при которой начинается дробление капель чугуна, м/с; n – количество сопел, через которые осуществляется подача азота; Q – расход нейтрального газа, м³/с; V – объемный расход в факеле выбросов, м³/с; d – диаметр сопла, м; l – расстояние от сопла до поверхности взаимодействия, м.

Параметры выбросов при переливах чугуна важны при проектировании установок пылеподавления нейтральным газом. В частности, в расчеты эффективности пылеподавления входят величины расхода в факеле выбросов, температура и запыленность потока и т.д. Все эти величины относятся к числу определяемых экспериментально, что требует значительных затрат труда и времени, поэтому обобщение этих материалов и сведение их к удобным усредненным показателям имеет большое практическое значение.

С целью определения средней скорости поднятия выбросов бурого дыма выполнена цифровая кино-



Рис. 1. Перелив чугуна из миксера в ковш с работающей установкой пылеподавления азотом в миксерном отделении кислородно-конвертерного цеха МК «Азовсталь»

съемка перелива жидкого чугуна из миксера в ковш при отсутствии применения пылеподавления азотом.

Съемка выполнялась в миксерном отделении кислородно-конверторного цеха металлургического комбината (МК) «Азовсталь» при сливе чугуна из 2500-т миксера в 350-т конвертерный ковш.

Исследования параметров выбросов при наполнении ковша расплавом металла показали, что можно выделить два периода перелива: пиковый выброс в начале процесса наполнения ковша и основной период слива, причем характеристики потока запыленных газов при переходе от одного периода к другому резко меняются.

Пиковый выброс происходит при соударении струи металла с твердой поверхностью футерованного дна ковша и длится в течение времени, необходимого для заполнения ковша примерно на 10 %. После этого на дне ковша образуется «подушка» жидкости, смягчающая удар, и параметры потока выбросов резко меняются. При пиковом выбросе все основные характеристики потока выбросов (запыленность, скорость потока, диаметр факела, температура) превышают соответствующие параметры основного периода слива. Это связано с образованием большого количества брызг металла при ударе о футеровку и с высокой интенсивностью окислительных процессов, идущих с выделением тепла. Данные по исследованию пикового выброса приводятся в табл. 1.

Скорость в факеле выбросов определялась по методике обработки косвенных измерений [4]: вся съемка была переведена в кадры, временной масштаб – 25 кадров = 1 с. Затем определялся масштаб киносъемки как отношение известного размера – диаметра ковша к размеру на экране, определяемому в пикселях. Диаметр ковша равен 5 м, на экране он составляет 150 пикселей. Следовательно, размерный масштаб – 1 м = 30 пикселей. Уравнение для определения скорости газового выброса:

$$v = \frac{L}{\tau} = \frac{25x}{30n} = \frac{5x}{6n}, \quad (2)$$

где $\tau = n/25$ – время наблюдения, с; n – число прошедших кадров; $L = x/30$ – расстояние, пройденное выбросом, м; x – количество пикселей на экране, соответствующих этому расстоянию.

Экспериментальные данные были обработаны в соответствии с поэтапной методикой [4]. В данном слу-

Таблица 1

Данные параметров выбросов в начальный период слива

Параметр потока выбросов	Значение
Скорость, м/с	4 ÷ 5,2
Диаметр факела, м	3,8 ÷ 5,1
Расход в факеле, м ³ /с	45 ÷ 107

чае мы имеем дело с обработкой результатов косвенных измерений, так как находим значение искомой величины (скорости выбросов v) по результатам прямых измерений других величин (время и высота поднятия выбросов), с которыми измеряемая величина связана функциональной зависимостью.

Полученные значения скорости выбросов (v) в основной период слива и погрешности (Δ) приведены в табл. 2.

Подсчитаем среднее значение скорости:

$$\bar{v} = \frac{1}{8} \sum_i v_i = \frac{16,41}{8} \approx 2,05,$$

где v – средняя скорость выбросов, м/с.

Обработав результаты экспериментальных исследований, можно прийти к выводу, что значения скорости газовых выбросов в разные моменты времени основного периода слива чугуна представляют собой пульсацию вокруг среднего значения (2,05 м/с). По результатам обработки эксперимента построен график (рис. 2).

Расход газов в выбросах определяется по уравнению

$$V = S\bar{v}, \quad (3)$$

где S – площадь зоны выбросов, м².

Учитывая, что диаметр 350-т ковша равен 5 м и учитывая примерные размеры зоны выбросов, после подстановки в уравнение (3) численных значений получим, что объемный расход выбросов приблизительно равен 40,2 м³/с.

Снижения выбросов бурого дыма при переливах чугуна можно достичь, уменьшая концентрацию кислоро-

Таблица 2

Экспериментальные значения скорости и ее погрешность в основной период слива

$\tau_{\text{ср}}, \text{с}$	15	30	45	60	75	90	105	120
$v_i, \text{м/с}$	1,70	2,22	2,30	2,31	2,17	1,97	2,02	1,72
$\Delta, \text{м/с}$	0,27	0,35	0,24	0,16	0,37	0,49	0,25	0,37

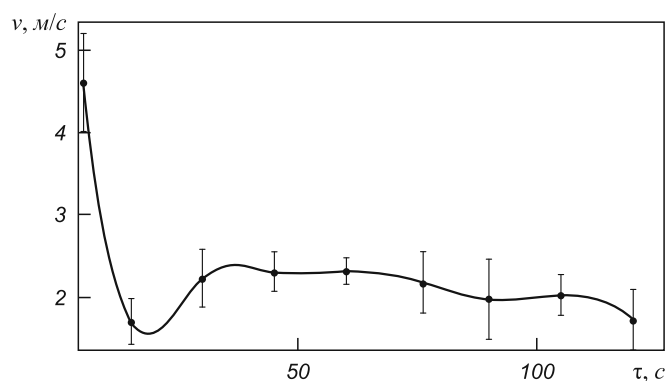


Рис. 2. Изменение скорости выбросов бурого дыма при сливе чугуна из миксера в ковш

да в газовой фазе. Этого можно добиться подачей в зону дымообразования нейтрального газа. Эффективным инструментом подавления бурого дыма является разработанная технология с применением нейтрального газа. Азот при сливе чугуна из миксера подается через стационарные сопла, укрепленные над ковшом. В табл. 3 приведены численные значения, характеризующие условия процесса перелива чугуна из миксера в ковш для миксерного отделения МК «Азовсталь».

Значения $w_{кр}$ находим по уравнению

$$w_{кр} = 24,2 - \sqrt{2gh}. \quad (4)$$

Для определения объемного расхода воспользуемся законом сохранения. Получим, что объемный расход в факеле выбросов связан с объемным расходом воздуха, поступающего в ковш. При этом необходимо учесть неизотермичность процесса вследствие того, что поток выбросов, который выносятся, нагревается до 200 °С

$$V = \alpha V_0, \quad (5)$$

где $\alpha = 0,577$ – коэффициент объемного расширения; V – объемный расход воздуха, поступающего в ковш, м³/с.

Расчеты с использованием формулы и данных табл. 3 приводятся для случая использования в установке пылеподавления трех сопел. Графическое представление показано на рис. 2. Таким образом в начале, при увеличении расхода нейтрального газа, происходит подавление процесса дымообразования за счет снижения концентрации кислорода и дополнительной коагуляции брызг, как следствие уменьшения поверхности испарения. В дальнейшем увеличение расхода приводит к росту скорости струи газа и после превышения критического значения скорости эффективность пылеподавления начинает падать из-за дополнительного диспергирования.

Таблица 3

Значения параметров, характеризующих протекание процесса перелива чугуна при сливе из миксера в ковш

Технологический параметр	Значение
Диаметр сопел, d , м	0,15
Расстояние от сопла до металла, l , м	2
Критическая скорость, $w_{кр}$, м/с	12,9
Объемный расход поступающего воздуха, V , м ³ /с	23,2
Средняя высота падения струи, h , м	6,5

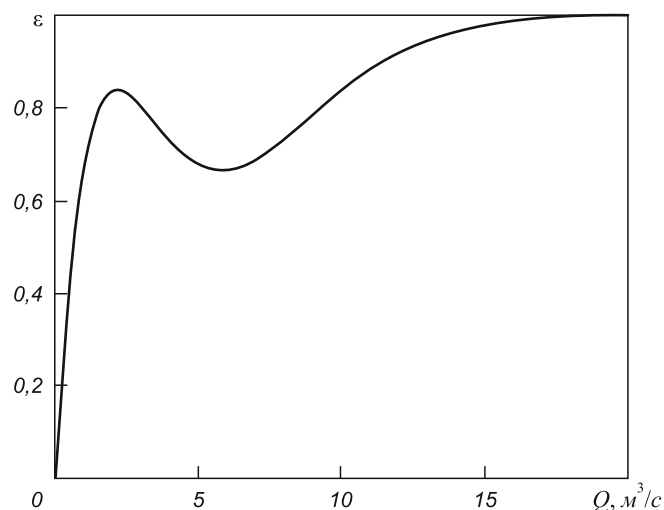


Рис. 3 Зависимость степени пылеподавления от расхода азота при сливе чугуна из миксера в ковш (при использовании трех сопел)

В результате анализа рис. 3 получены максимальные значения степени пылеподавления и расхода нейтрального газа, при которых они достигаются:

$$\epsilon_{\max} = 0,837 \text{ при расходе азота } Q = 2,16 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выводы. Определены параметры пылегазовых выбросов в разные моменты времени основного периода слива.

Установлена степень пылеподавления в конвертерном цехе МК «Азовсталь» при использовании установки пылеподавления азотом через три сопла.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке рациональных режимов подавления бурого дыма при подаче нейтрального газа для улучшения экологической обстановки в миксерном отделении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Недопекин Ф.В., Белоусов В.В., Кравец В.А., Бодряга В.В. Исследование влияния тепловой конвекции на распределение газовых потоков при переливах чугуна // VI Минский Международный форум по тепло- и массообмену. – Минск, 2008. Т. 2. С. 323 – 324.
2. Недопекин Ф.В., Кравец В.А., Бодряга В.В., Тимаков В.В. Исследование экологической проблемы образования бурого дыма // Металлургическая теплотехника. Сб. научн. тр. – Днепропетровск: Пороги, 2004. С. 221 – 229.
3. Кравец В.А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна – Донецк: УкрНТЭК, 2002. – 186 с.
4. Захаров И.П. Обработка результатов измерения. – Харьков, 2003. – 116 с.

© 2012 г. В.В. Бодряга, В.А. Кравец, Ф.В. Недопекин
Поступила 7 марта 2012 г.