

УДК 669.162.221:621.646

**А.П.Толстопят, В.В.Давидсон, Л.А.Флеер, В.И.Елисеев, Т.А.Рузова,
И.А.Маначин, А.Ф.Шевченко, С.А.Шевченко**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЧАСТИЦ В ДВУХФАЗНОМ ПОТОКЕ ПРИ- МЕНИТЕЛЬНО К МАГНИЕПРОВОДУ ДВУХСОПЛОВОЙ ФУРМЫ.

Целью данной работы являлось исследование оценки влияния угла делителя потока фурмы на скорость движения частиц магния в нем применительно к процессу ковшевого рафинирования чугуна. В результате исследования показано, что скорость частиц магния и полистирола ($d \approx 1,5$ мм) как при прохождении вертикальной трубы (сталь, $D \approx 13$ мм), так и при прохождении делителя не зависит от конструкции делителя ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$), а зависит лишь от физических характеристик взаимодействующих материалов конструктивных элементов фурмы и частиц.

ковшевое рафинирование чугуна, фурма, делитель потока, частицы магния, конструктивные элементы

Введение. В целях совершенствования технологии вдувания двухфазных потоков в железоуглеродистые расплавы актуальна задача изучения динамических характеристик (скорость, ускорение, трение) как всего потока в целом, так и отдельных частиц. Ранее [1,2] проводилось экспериментальное исследование по определению скорости движения частиц в прямых трубах при различных углах наклона канала. Регистрация скорости велась с помощью видеокамеры (по трекам частиц) на выходе из канала. Однако для реальных конструкций многосопловых фурм, включающих делитель потока или прямой вертикальный канал сопряженный с установленным под углом к нему насадками, такая схема стенда малоинформативна.

Описание экспериментального стенда. Учитывая изложенное была разработана принципиально иная схема, позволяющая регистрировать скорость частиц до и после деления двухфазного потока, не вмешиваясь в его структуру. Был разработан метод опто–электронной регистрации скоростей мелких одиночных частиц, движущихся в трубопроводе, со скоростями до 45 м/сек и изготовлены опто–электронные датчики и стенд (рис.1).

Измерительные устройства (датчики), установленные в нескольких точках по линии трубопровода, представляют собой трубный блок того же диаметра, что и транспортный трубопровод, в каждом из которых с интервалом 100 мм по оси размещены одна за другой две опто–электронные пары «излучатель – приемник» ИК – диапазона. В отличие от датчиков, работающих на перекрытие оптической оси излучатель – приемник, данное устройство реагировало на отраженное излучение, что свело к минимуму зоны нечувствительности.

Для предотвращения засветки посторонними внешними источниками

света были использованы пары приборов типа TSAL, TSOP, работающие на модулированном (несущая 36 кГц) излучении, обычно используемые в устройствах дистанционного управления бытовыми приборами. Экспериментальная установка (рис.1) включает основным элементом трубу с внутренним диаметром $D=13$ мм (материал – нержавеющая сталь) и длиной 2.2 м.

Труба располагалась вертикально. В верхней части трубы установлен плунжер–дозатор – 2 и расходомер – 3 с расходной шайбой, на вход которого подавался от компрессора сжатый воздух. Расход воздуха определялся по перепаду давления на расходной шайбе, регистрируемого манометрами 4 и 5.

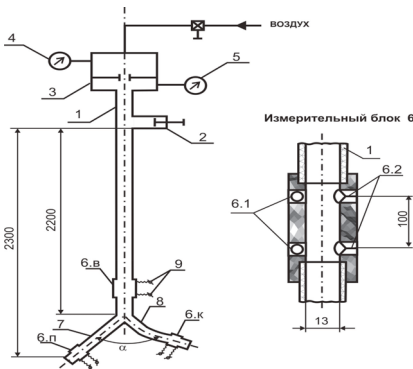


Рис.1. Схема экспериментального стенда: 1–труба $D = 13$ мм; 2–плунжер-дозатор; 3 – расходомер; 4, 5 – манометры; 6 – измерительный блок; 6.1– источник излучения; 6.2 – светоприемник; 7– прямой патрубок; 8 –изогнутый (кривой) патрубок; 9– электрический выходной сигнал

Плунжер-дозатор 2 представлял собой цилиндрическую емкость с поршнем, в которую перед экспериментом загружались навески в 5–10 г дисперсного материала. После подачи на установку требуемого расхода газа загруженная в дозатор навеска в течение 5–10 сек поршнем выгружалась (выталкивалась) в трубу.

В нижней части трубы установлен измерительный блок 6, представляющий собой опто–электронный датчик с двумя уровнями регистрации (интервал 100 мм), образующими мерную базу. При прохождении частицей мерной базы блок 6 выдаёт последовательность из двух импульсов, соответствующих «старту» и «стоку». Ввиду неравномерной чувствительности оптопары по сечению каждого из регистрирующих уровней, выходные импульсы блока датчиков имеют непостоянную амплитуду и затянутые фронты. Поэтому каждый измерительный канал снабжен преобразовательным блоком, служащим для нормализации амплитуды и длительности импульсов, а также для согласования уровней сигналов со звуковой картой компьютера. Как видно из рис.2 амплитуды стартовых и стоковых импульсов на выходе преобразователей имеют отличную друг от друга величину. Это сделано для облегчения корреспондирующих пар импульсов.

Выход блока 6 соединен с делителем потока, который обеспечивал раздачу последнего по двум патрубкам, один из которых (7) прямой — $\varnothing 9$

мм, другой (8) – изогнутый (кривой) – \varnothing 9 мм. В качестве дисперсного материала использовался гранулированный магний (Mg) и полистирол суспензионный. Оба дисперсных материала просеивались на ситах 1 мм и 2 мм. При этом частицы Mg имели шероховатую поверхность и неправильную произвольную форму. Частицы полистирола имели практически идеальную гладкую поверхность и форму шара.

В экспериментах использовались три конструкции делителя, различающихся углом α между нормальными к входным сечениям патрубков: $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$. На выходе указанных патрубков так же, как и перед делителем, были установлены измерительные блоки, отличающиеся от описанного выше (входного) лишь диаметром канала – 9 мм, отвечающему внутреннему диаметру патрубка.

Электрический сигнал с выхода преобразователей поступает на вход аудиоплаты компьютера, оцифровывается в формате «wav» звукового файла с частотой дискретизации $F_s=96000$ Гц и представляет собой последовательность импульсов – пиков, каждый из которых соответствует моменту прохождения частицы плоскости регистрационного уровня. Ввиду того, что схема снабжена двумя уровнями регистрации, расстояние l между которыми известно (100мм), скорость частицы определяется, исходя из оценки времени прохождения частицей этого расстояния, которое регистрируется как интервал между парой импульсов, соответствующих сигналам первого и второго датчиков. Сигнал, лишенный шумов, представлен на рис.2.

Анализ результатов исследований. Приведенный фрагмент отображает процесс последовательного прохождения двух частиц в канале и имеет структурированную форму: пики располагаются парами, расстояние между которыми значительно превосходит расстояние между пиками одной пары.

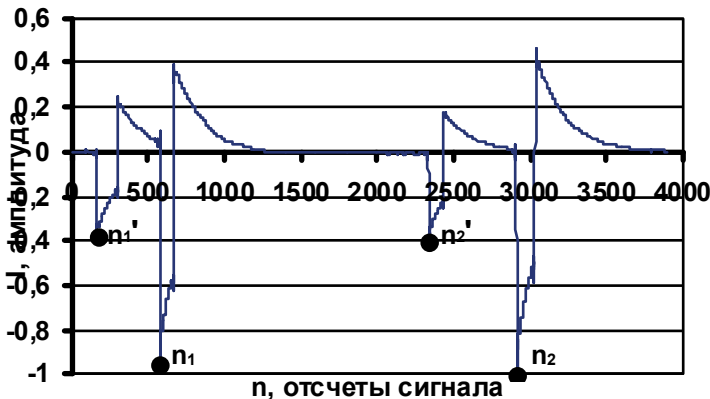


Рис.2. Фрагмент структурированного сигнала фотодатчиков

Такие пары импульсов несложно выделить и вычислить скорость i -ой частицы как $v_i = \frac{l}{\Delta t_i}$, где $\Delta t_i = t(n_i) - t(n'_i) = (n_i - n'_i) / Fs$, n_i, n'_i – отсчеты wav-файла, соответствующие импульсам при прохождении частицей второго и первого датчиков.

Но, как правило, сигнал не имеет регулярной структуры, что обусловлено неравномерным выбросом частиц в канал. В связи с этим предложен алгоритм определения значений скоростей частиц, независящий от равномерности выброса частиц. Полученный массив скоростей обрабатывался статистически. Как отмечалось выше, эксперименты проводились с дисперсными частицами двух видов – полистирол и магний. Средний диаметр частиц, отобранных при просеивании между ситами 1 мм и 2 мм, составлял 1,5 мм. Расход транспортирующего воздуха фиксировался при двух значениях: $21 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, что для диаметра канала стенда (13 мм) отвечало скоростям газа $u = 45 \text{ м/с}$ и $u = 65 \text{ м/с}$ соответственно.

Эксперимент проводился таким образом, что информация с трёх измерительных блоков б снималась одновременно. Результаты представлены в виде распределения вероятностей скоростей частиц.

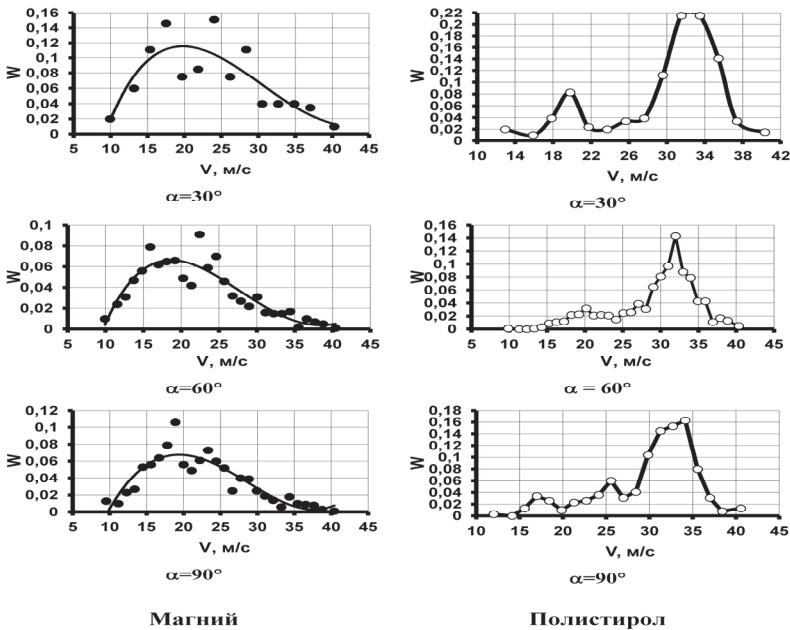


Рис.3. Распределение скоростей частиц магния и полистирола
 W – вероятность, V - скорость частиц, $Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$, $d = 1,5 \text{ мм}$
 Область измерения – вертикаль ($H = 2,3 \text{ м}$, $h = 1,95 - 2,05 \text{ м}$)

На рис.3 приведены распределения вероятностей скоростей частиц полученных в конце вертикального участка канала (измерительный блок б). Можно отметить, что величины наиболее вероятных значений скорости в конце вертикального участка не зависят от величины угла установленного ниже делителя потока, однако величина вероятности этих значений при $\alpha = 30^\circ$ в 1.5 ÷ 2.0 раза выше, чем при $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$.

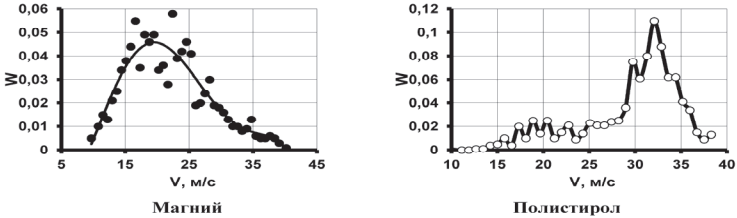


Рис.4. Распределение скоростей частиц магния и полистирола
 W – вероятность, V – скорость частиц, $Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$, $d = 1,5 \text{ мм}$
 Сводный график $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$.
 Область измерения – вертикаль ($H = 2,3 \text{ м}$, $h = 1,95 - 2,05 \text{ м}$)

На рис.4 данные с рис.1 сведены без детализации по величине α . Установлено, что для полистирола при $u_r = 45 \text{ м/с}$, $V_w = 23 \text{ м/с}$, при $u_r = 65 \text{ м/с}$, $V_w = 32 \text{ м/с}$, а для магния при $u_r = 45 \text{ м/с}$, $V_w = 14,5 \text{ м/с}$, при $u_r = 65 \text{ м/с}$, $V_w = 22,4 \text{ м/с}$. Видно, что для частиц магния вероятная скорость в 1.5 раза меньше чем для полистирола, что можно отнести на счет большей шероховатости и меньшей твердости частиц проявляющейся при взаимодействии со стеной трубы. На рис.5 представлены результаты экспериментов полученные по обработке сигналов с измерительных блоков б.п и б.к (рис.1).

Видно, что величина угла делителя и в этом случае практически не влияет на величину V_w , однако, как и на вертикальном участке (б.в), оказывает некоторое влияние на величину V_w ($W_{30^\circ} > W_{60^\circ}$). Следует, отметить, что прямой патрубок после делителя дает более высокие значения W , чем изогнутый (кривой).

На рис.6 даны графики показывающие величину средней скорости частиц в функции угла делителя α . Видно, что при некотором разбросе величин (до 50%) влиянием угла на величину скорости частиц на выходе можно пренебречь.

Установлено, что для полистирола при $u_r = 45 \text{ м/с}$, $V = 9 \div 11 \text{ м/с}$; при $u_r = 65 \text{ м/с}$, $V = 10 \div 15 \text{ м/с}$, а для магния при $u_r = 45 \text{ м/с}$, $V = 8 \div 10 \text{ м/с}$; при $u_r = 65 \text{ м/с}$, $V = 9 \div 13 \text{ м/с}$.

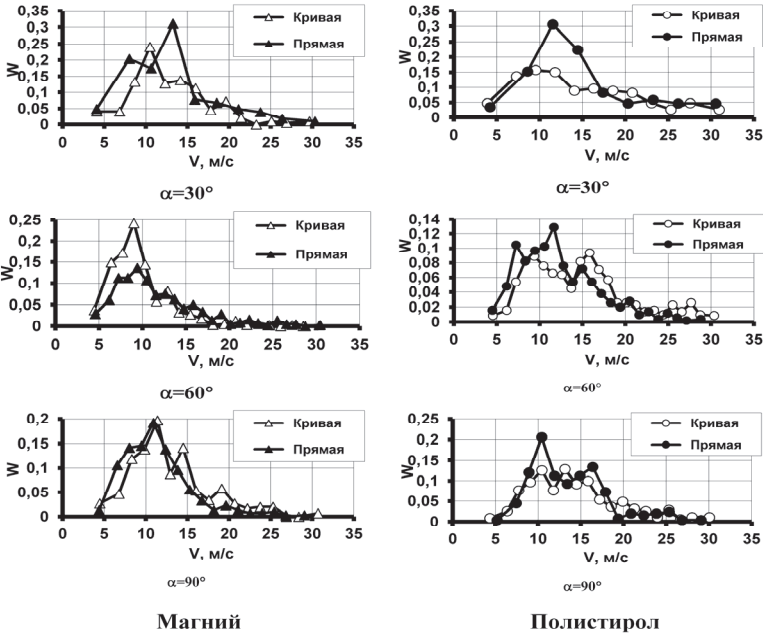


Рис.5. Распределение скоростей частиц магния и полистирола.

W – вероятность, V – скорость частиц, $Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$, $d = 1,5 \text{ мм}$.

Область измерения – V-фурма кривая и V-фурма прямая ($H = 2,3 \text{ м}$, $h = 2,2 \text{ м}$)

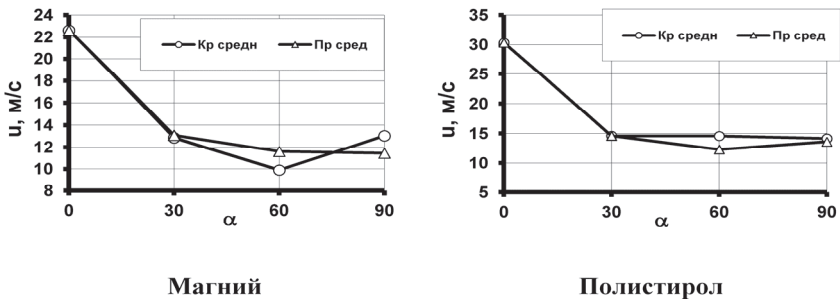


Рис.6. Скорости частиц магния и полистирола $Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$, $d = 1,5 \text{ мм}$ при различных углах каналов оголовка V – фуры ($H = 2,3 \text{ м}$; $h = 2,2 \text{ м}$).

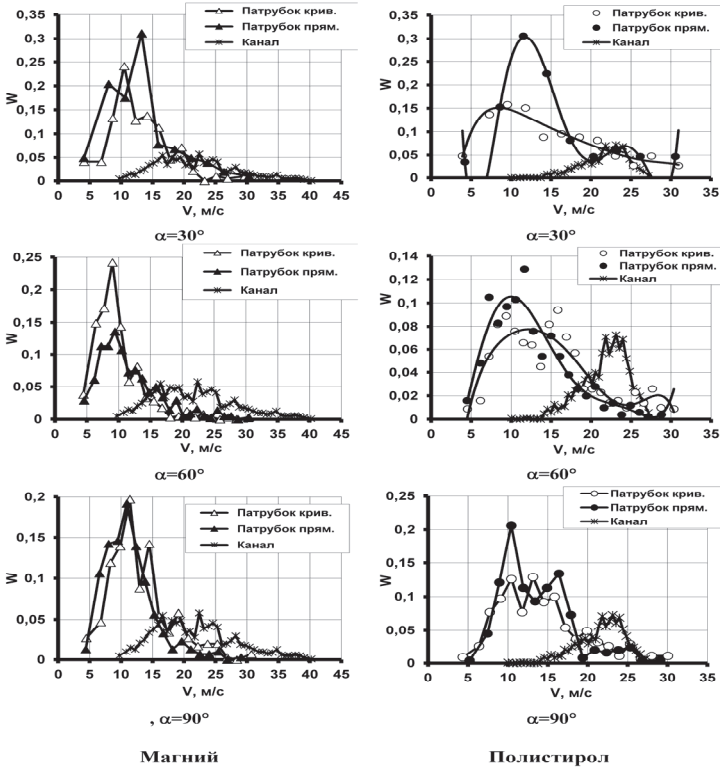


Рис.7 .Совмещение распределений скоростей частиц магния и полистирола.

$Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$; W – вероятность, V – скорость частиц, $d=1,5 \text{ мм}$.

Область измерения – V-фурма кривая и V-фурма прямая ($H=2,3 \text{ м}$; $h=2,2 \text{ м}$)

Закключение. На рис.7 в одних координатах сведены результаты полученные с трёх измерительных блоков (б.в, б.п, б.к) для магния и полистирола, что дает наглядное представление о величинах скорости частиц и их вероятности в целом по фурменному устройству. Видно, что при работе с магнием делитель с $\alpha = 30^\circ$ и прямым патрубком имеет некоторое преимущество – меньшая потеря скорости ($V=13 \text{ м/с}$) и более высокая величина ее вероятности (0,3). При $\alpha = 60^\circ$ эффективнее использовать патрубок изогнутый, а в случае $\alpha = 90^\circ$ оба патрубка дают одинаковый результат. Интересно отметить, что при работе с полистиролом прямой патрубок делителя с $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$ имеет преимущество.

1. Рузова Т.А., Толстомят А.П., Флеер Л.А. /Метод экспериментального определения скоростей частиц в двухфазном потоке //Научный вестник Национального горничного университета.– Дніпропетровськ. – 2012. – № 3 (129). – С. 107-113.
2. Экспериментальное определение скорости частиц в канале постоянного диаметра / А.П.Толстомят, Л.А.Флеер, В.В.Давидсон и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научных трудов ИЧМ. – 2011. – Вып. 23. – С.113-122.

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук А.С.Вергуном*

***О.П.Толстомят, В.В.Давидсон, Л.О.Флеер, В.І.Єлісєєв, Т.О.Рузова,
І.О. Маначин, А.П. Шевченко, С.А. Шевченко***

Визначення швидкості частинок у двофазному потоці стосовно до магнієпроводу двосоплової фурми.

Метою даної роботи було дослідження оцінки впливу кута дільника потоку фурми на швидкість руху частинок магнію в ньому стосовно до процесу ковшового рафінування чавуну. В результаті дослідження показано, що швидкість частинок магнію і полістиролу ($d \approx 1,5$ мм) як при проходженні вертикальної труби (сталь, $D \approx 13$ мм), так і при проходженні дільника не залежить від конструкції дільника ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$), а залежить лише від фізичних характеристик взаємодіючих матеріалів конструктивних елементів фурми і частинок.