

УДК 535.8

А.П. Толстопят, В.В. Давидсон, Л.А. Флеер, Т.А. Рузова¹, Н.В. Нечухаева²

¹*Днепропетровский национальный университет, Украина,
49010, Украина, Днепропетровск, пр. Гагарина, 72, E-mail: ruzov1973@bk.ru*

²*Национальная металлургическая академия Украины, Украина,
49600, Украина, Днепропетровск, пр. Гагарина, 4*

ОПТИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ТРУБОПРОВОДЕ

АННОТАЦИЯ

Предложен метод определения скорости дисперсной фазы. Разработана аппаратная схема и программный комплекс для обработки сигнала опто-электронного датчика для измерения скорости дисперсных частиц в канале фурмы. Проведено экспериментальное исследование по определению скорости движения частиц в прямых трубах при различных углах наклона канала путем программной обработки сигнала опто-электронного датчика.

Разработанная аппаратная схема и методы обработки результата позволяют проводить исследования эффективности работы делителя потока при различных конструктивных особенностях, при высоких скоростях, не внося возмущающих элементов в поток газа-носителя.

**СКОРОСТИ ЧАСТИЦ, ДИСПЕРСНАЯ ФАЗА, ОПТО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ДАТЧИК,
ДЕЛИТЕЛЬ ПОТОКА, ЗВУКОВОЙ ФАЙЛ**

ВВЕДЕНИЕ

Исследования движения многофазных потоков получили широкое распространение в связи с развитием многих промышленных отраслей и, в частности, с развитием пневмо- и гидротранспортных систем. При создании теории гетерогенных сред важным направлением было описание взаимодействия дисперсной среды с несущим потоком [1]. Другим практическим и не менее важным направлением было получение экспериментальных данных и создание методов расчета взаимодействия несущих потоков и дисперсной составляющей со стенками того или иного технологического аппарата. Пневмотранспортные системы являются довольно протяженными и разветвленными системами, в которых основной вклад в сопротивление и, соответственно, в потери энергии, вносит взаимодействие гетерогенных потоков со стенками каналов. В связи с этим при рассмотрении гидро- и пневмотранспортных систем основным вопросом является определение скоростей частиц в каналах. Этой проблеме и сопутствующим ей другим вопросам посвящено значительное количество работ, например, [2, 3]. Учитывая сложность движения переносимых потоком частиц и практическую непредсказуемость физических свойств (форма частиц, морфология поверхности, адсорбционные свойства), основным направлением исследования является эксперимент, который позволяет определять необходимые параметры.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является определение скорости твердой дисперсной фазы как одного из основных параметров течения двухфазной среды – проведение отработки сопряжения регистрирующих опто-электронных датчиков непосредственно с персональным компьютером (через аудиовход) и разработка программного комплекса обработки сигнала с выдачей физических значений параметров на ПК. Ранее нами проводилось экспериментальное исследование по определению скорости движения частиц в прямых трубах [4]. Регистрация скорости велась с помощью видеокамеры (по трекам частиц) на выходе из канала. Однако, для реальных конструкций многосопловых фурм, включающих прямой вертикальный канал, сопряженный с установленным под углом к нему насадками, такая схема стенда малоинформативна.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Описание экспериментального стенда

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.

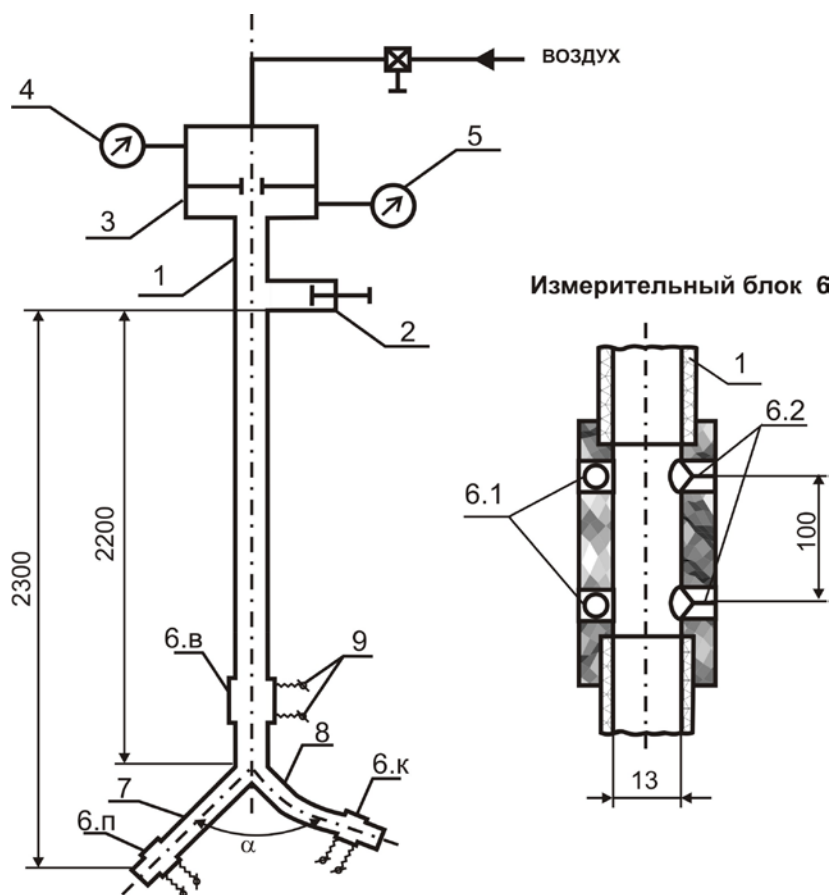


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – труба $D = 13$ мм; 2 – плунжер-дозатор; 3 – расходомер; 4, 5 – манометры; 6 – измерительный блок; 6.1 – источник излучения; 6.2 – светоприемник; 7 – прямой патрубок; 8 – изогнутый патрубок; 9 – электрический выходной сигнал

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 с 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) проходящих частиц, где одна за другой размещены две пары излучатель - приемник ИК – диапазона. Для предотвращения засветки посторонними внешними источниками света использованы приборы типа NSAL, NSOP, работающие на модулированном (несущая частота 36 кГц) излучении.

В отличие от датчиков, работающих на перекрытие оптической оси излучатель – приемник, данное устройство реагировало на отраженное излучение, что свело к минимуму зоны нечувствительности. Регистрация временных промежутков прохождения частиц мерной базы (100 мм) осуществлялось компьютером. 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 ($\varnothing 9$ мм).

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 измерительных блоков 6 поступал на блоки-преобразователи, через которые поступал на вход аудиоплаты компьютера. Поступивший в ПК сигнал с использованием программы АЦП оцифровывался и далее, по описанной ниже схеме, обрабатывался на ПК – находились искомые значения скоростей частиц.

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.

Обработка сигнала измерительного блока.

Методика статистической обработки эксперимента. Полученный сигнал 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 мимо окошка фотодатчика. Ввиду того, что схема снабжена двумя фотодатчиками, расстояние l между которыми известно, скорость частицы может быть определена, исходя из оценки времени прохождения частицей этого расстояния, которое может быть определено как интервал между парой импульсов, соответствующих сигналам первого и второго датчиков.

Сигнал, лишенный шумов, представлен на рис. 2. 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. Такие пары импульсов несложно выделить и вычислить скорость i -ой частиц как

$$v_i = \frac{l}{\Delta t_i},$$

где $\Delta t_i = t(n_i) - t(n'_i) = (n_i - n'_i)/F_s$,

n_i, n'_i – отсчеты wav-файла, соответствующие импульсам при прохождении частицей i второго и первого датчиков.

Но, как правило, сигнал не имеет регулярной структуры, что обусловлено неравномерным вбросом частиц в канал. В связи с этим предложен алгоритм определения значений скоростей частиц, независящий от равномерности вброса частиц [5].

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 м³/ч и 30 м³/ч, что для диаметра канала стенда (13 мм) отвечало скоростям газа $u = 45$ м/с и $u = 65$ м/с соответственно.

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

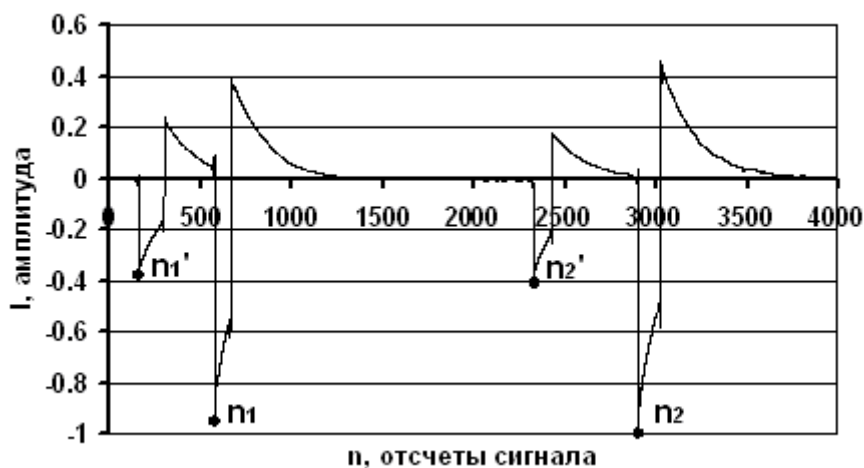


Рис. 2. Фрагмент структурированного сигнала фотодатчиков: n_1, n_2 – отсчеты, соответствующие прохождению частицами каждой из частиц второго датчика; n'_1, n'_2 – первого датчика

На рисунке 3 даны распределения вероятностей скоростей частиц полученных в конце вертикального участка канала (измерительный блок б.в).

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 $\alpha = 90^\circ$.

На рисунке 4 данные с рисунка 1 сведены без детализации по величине α . Установлено, что для полистирола при $u_r = 45$ м/с, $V_w = 23$ м/с, при $u_r = 65$ м/с, $V_w = 32$ м/с., а для магния при $u_r = 45$ м/с, $V_w = 14,5$ м/с, при $u_r = 65$ м/с, $V_w = 22,4$ 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 рисунке 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 рисунке 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 $u_r = 45$ м/с, $V = 9 \div 11$ м/с; при $u_r = 65$ м/с, $V = 10 \div 15$ м/с., а для магния при $u_r = 45$ м/с, $V = 8 \div 10$ м/с; при $u_r = 65$ м/с, $V = 9 \div 13$ м/с.

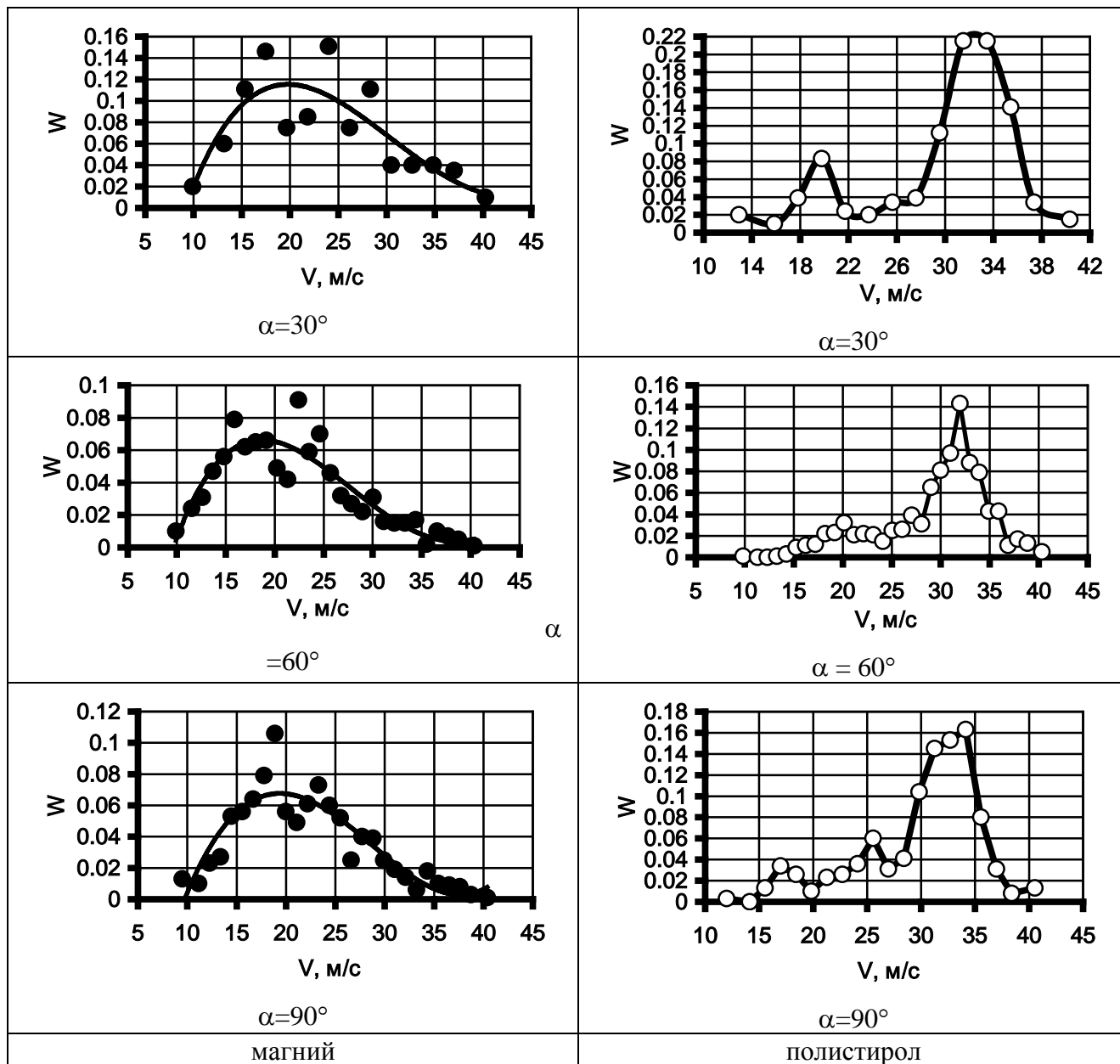


Рис. 3. Распределение скоростей частиц магния и полистирола: W – вероятность, V – скорость частиц, $Q = 30$ м³/ч, $d = 1,5$ мм; область измерения – вертикаль ($H = 2,3$ м, $h = 1,95 - 2,05$ м)

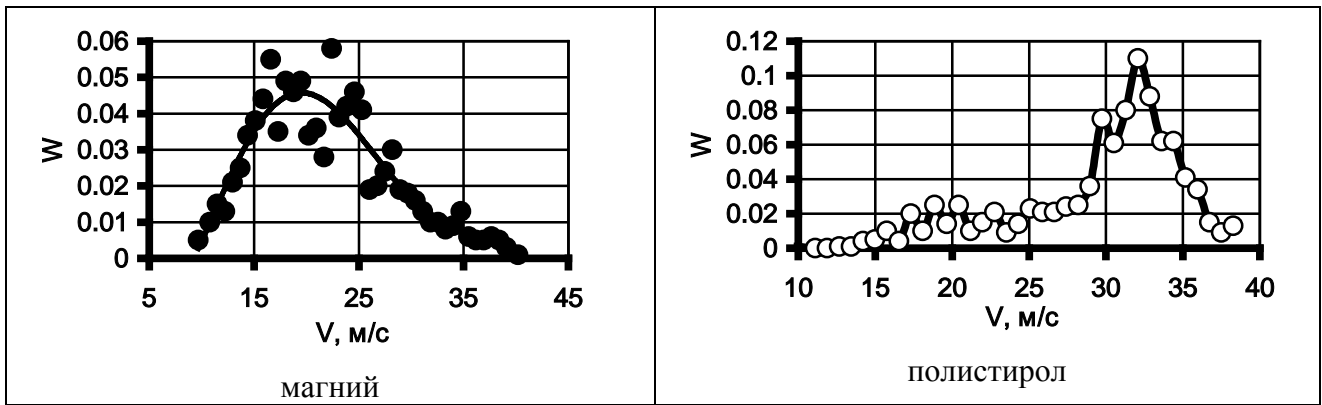


Рис. 4. Распределение скоростей частиц магния и полистирола: W – вероятность, V - скорость частиц, Q = 30 м³/ч, d = 1,5 мм; сводный график $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$; область измерения – вертикаль (H = 2,3 м, h = 1,95 – 2,05 м)

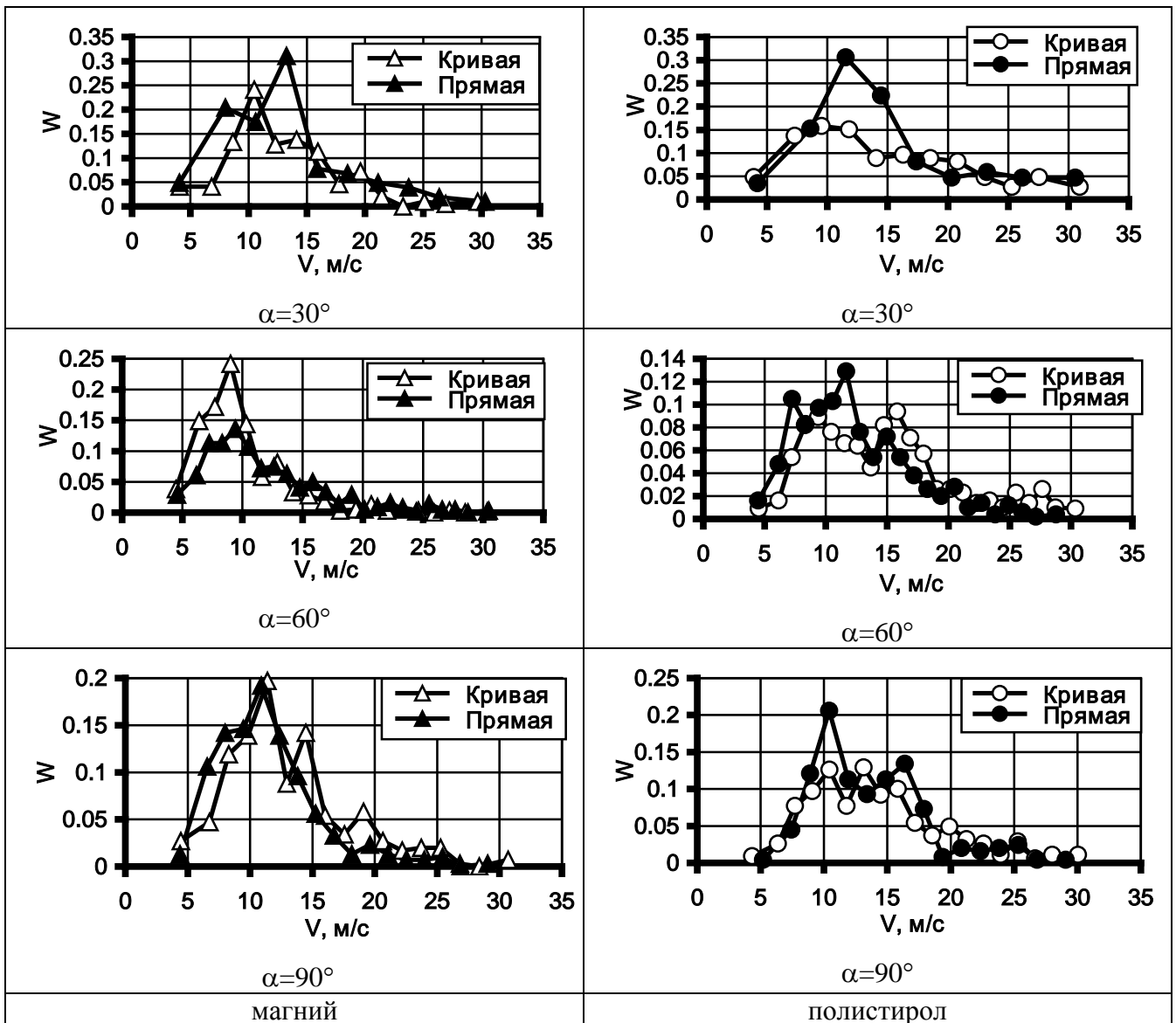


Рис. 5. Распределение скоростей частиц магния и полистирола: W – вероятность, V - скорость частиц, Q = 30 м³/ч, d = 1,5 мм; область измерения – V-фурма кривая и V-фурма прямая (H = 2,3 м, h = 2,2 м)

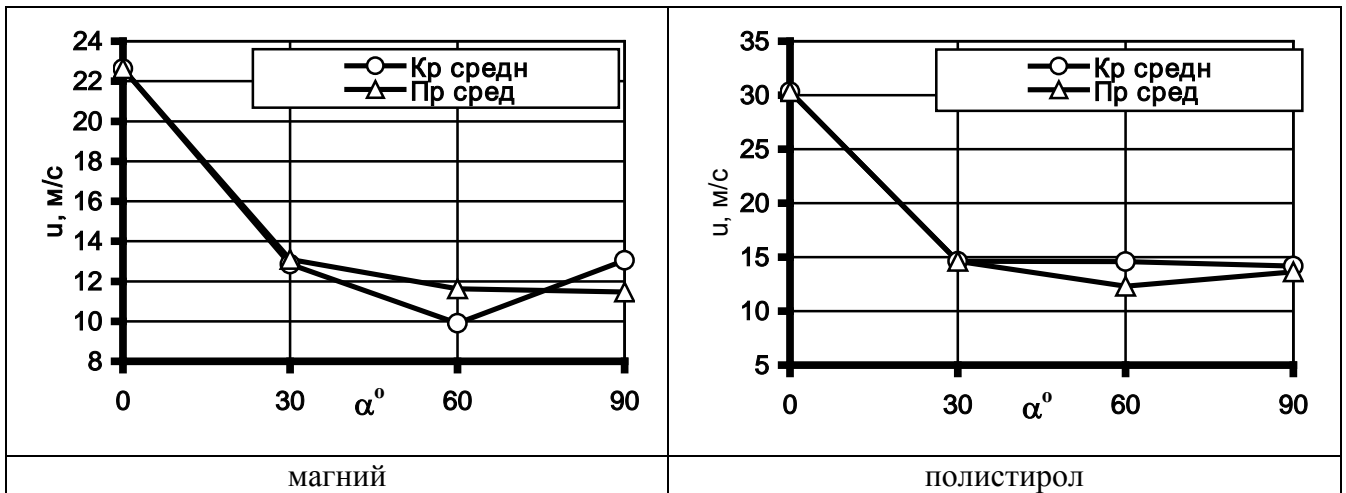
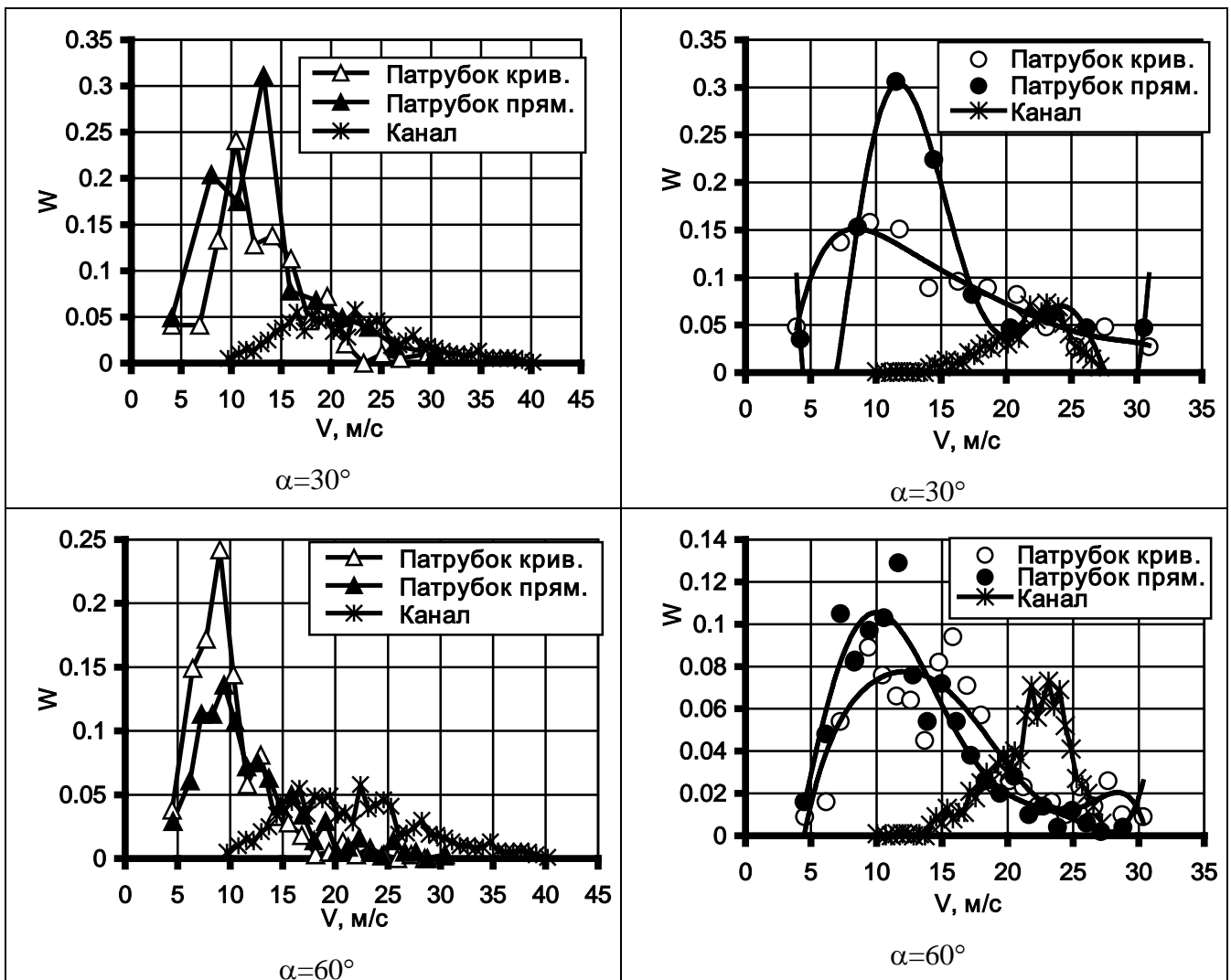


Рис. 6. Скорости частиц магния и полистирола $Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$, $d=1,5 \text{ мм}$ при различных углах каналов оголовка V – фуры ($H=2,3 \text{ м}$; $h=2,2 \text{ м}$).



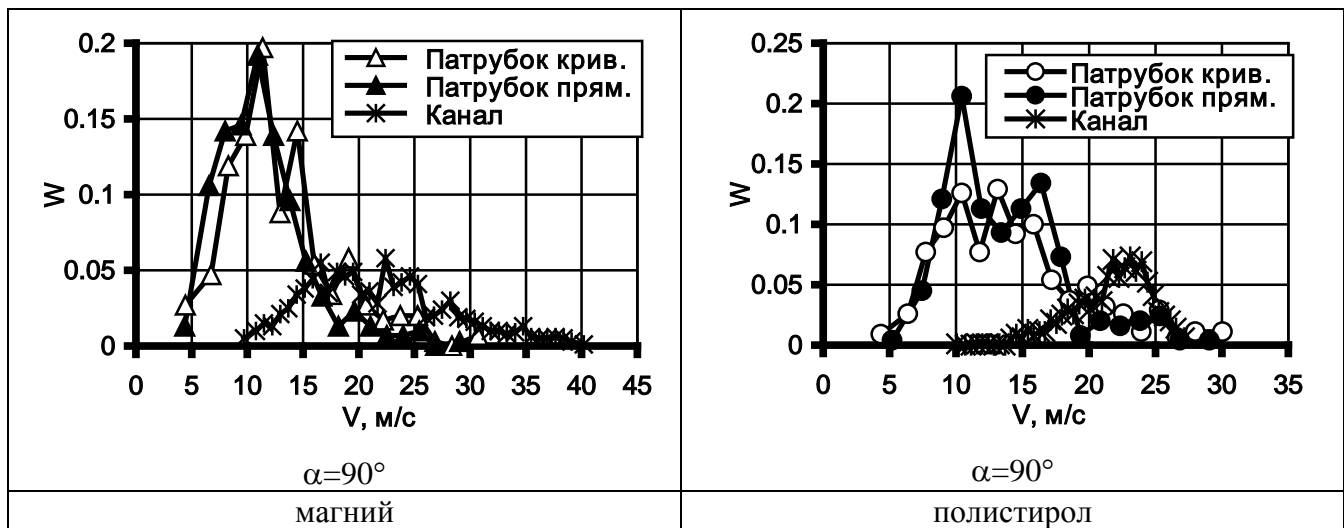


Рис. 7. Совмещение распределений скоростей частиц магния и полистирола: $Q = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$; W – вероятность, V – скорость частиц, $d=1,5 \text{ мм}$; область измерения – V-фурма кривая и V-фурма прямая ($H=2,3 \text{ м}$; $h=2,2 \text{ м}$)

На рисунке 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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная аппаратная схема и методы обработки результата позволяют проводить исследования эффективности работы делителя потока при различных конструктивных особенностях, при высоких скоростях, не внося возмущающих элементов в поток газа–носителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Nigmatulin R.I.** Drift flux model as approximation of two fluid model for two phase dispersed and slug flow in tube, Proc. of the 7-th Nuclear Thermo-Hydraulics Conf. (NURETH-7). – New York. – 1995. – Vol. 1. – P. 215– 225.
2. **Волошин А. И., Пономарев Б. В.** Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. – Киев: Наук. думка, 2001. – 248 с.
3. **Рузова Т. А., Карпов О. Н., Флеер Л. А.** Оперативный контроль параметров частиц дисперсных образований // Науковий вісник Національного гірничого університету.–Дніпропетровськ.–2004. – № 2. – С. 83–88.
4. **Толстопят А.П., Елисеев В.И.** Определение скорости движущихся частиц с помощью видеокамеры // Оптические методы исследования потоков: труды XI международной научно-технической конференции. – Москва. – 2011. – С. 101–103.
5. **Рузова Т.А.** Метод экспериментального определения скоростей частиц в двухфазном потоке / Т.А. Рузова, А.П.Толстопят, Л.А. Флеер // Науковий вісник Національного гірничого університету.– Дніпропетровськ. – 2012. – № 3 (129).

A.P. Tolstopyat, V.V. Davidson, L.A. Fler, T.A. Ruzova¹, N.V. Nechukhaeva²

¹*Dnepropetrovsk national university, Ukraine,
49010, Ukraine, Dnepropetrovsk, Gagarin av., 72, E-mail: ruzov1973@bk.ru*

²*National Metallurgical Academy of Ukraine, Ukraine,
49600, Ukraine, Dnepropetrovsk, Gagarin av.,4*

OPTICAL RECORDING OF DISPERSED PARTICLES MOTION PARAMETERS IN THE PIPELINE

Method for evaluation dispersed phase velocity is developed. Equipment circuit and software for treating the signal from optoelectronic sensor to evaluate velocities of disperse particles in tuyer channel is designed. We made experimental investigation in evaluating particles velocity in straight pipes at different channel slope angles by program treatment of the signal from optoelectronic sensor.

Developed equipment circuit and signal processing methods allow to carry out investigation in stream splitter operating efficiency at different constructional features, high velocities without bringing disturbing elements in gas-carrier stream.

**PARTICLES VELOCITIES, DISPERSED PHASE, OPTOELECTRONIC SENSOR,
STREAM SPLITTER, WAVE FILE**