

УДК 669.163.27:669.046.516:681.3

А.П. Толстопят, канд. техн. наук, ст. научн. сотр,  
В.И. Елисеєв, канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр,  
Л.А. Флеєр, Т.А. Рузова, канд. техн. наук

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, г.Днепропетровск, Украина, e-mail: ruzov1973@bk.ru

## ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

A.P. Tolstopyat, Cand. Sci. (Tech.), Senior Research  
Scientist,  
V.I. Yeliseyev, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Re-  
search Scientist,  
L.A. Fleer, T.A. Ruzova, Cand. Sci. (Tech.),

O. Gonchar Dnipropetrovsk National University, Dniprope-  
trovsk, Ukraine, e-mail: ruzov1973@bk.ru

## EVALUATION OF OSCILLATIONS FREQUENCY OF GAS-LIQUID INTERACTION BY IMAGE PROCESSING

Газожидкостное взаимодействие является одним из основных в ряде технологических процессов

**Цель.** Определение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) газожидкостного взаимодействия (при погружной продувке технологической ванны) – волнообразования на поверхности жидкости в ванне и АЧХ присопловой зоны, характеризующем АЧХ фурменного устройства.

**Методика.** Исследуется газожидкостное взаимодействие на прозрачной модели технологического аппарата. Модельная жидкость – вода, модельный газ – воздух (расход –  $0,4 \div 2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Дутьевое устройство с углом отклонения сопла наконечника  $\alpha = 0^\circ; 45^\circ; 90^\circ$  от оси фурмы погружено в жидкость. Регистрация процесса велась на видеокамеру (VPC-HD1000 с затвором  $\sim 1/10000\text{с}$ , 60кадр/сек) в проходящем свете. Полученный видеоматериал обрабатывался на компьютере, в результате чего были определены АЧХ, аналоги газосодержания, фазовой поверхности и коэффициенты кратности диспергирования.

**Результаты.** На основании анализа результатов статистической обработки видеоизображений процесса получена зависимость эффективности диспергирования пузырей в ванне от режима дутья и конструкции фурмы. Предложено определение эффективной частоты  $f^{**}$ , найденной по наибольшему значению динамической компоненты АЧХ присопловой зоны:  $u = A \cdot f$ . Выявлена немонотонность степени диспергации от изменения режима дутья в исследованном диапазоне  $10^2 < Ar < 10^4$ .

**Научная новизна.** Проведено экспериментальное исследование по определению эффективности различных конструкций погружных дутьевых устройств по видеоизображениям газожидкостного взаимодействия в технологическом аппарате.

**Практическая значимость.** Результаты исследований применяются в разработке схем и режимов дутья при внепечной обработке металла в чугуновозных ковшах.

**Ключевые слова:** *производство чугуна, дутье в жидкость, обработка видеоизображения, фурма, колебания, частота*

**Введение.** Холодное моделирование высокотемпературных технологических процессов на прозрачных моделях наиболее простой, дешевый и информативный метод прояснения физической картины процесса [1–3]. Однако более полное раскрытие этой информации стало возможным с развитием компьютерных методов обработки видеоизображений.

В работе [4] авторами рассмотрено холодное моделирование процесса внепечной обработки, которым является продувка расплава газодисперсным потоком или газом при погружном положении дутьевого устройства.

Авторами разработана компьютерная методика обработки видеоизображений применительно к процессу газожидкостных взаимодействий при заглубленном дутье. Результаты применения этой методики к анали-

зу распределения газовых пузырей при заглубленном дутье представлены в [4].

**Постановка задачи.** Газожидкостное взаимодействие при заглубленном дутье всегда приводит к колебаниям жидкости в ванне и погруженного в нее оборудования (фурмы). Последние, в первую очередь, связаны с режимом дутья – интенсивностью продувки. Это ставит вопросы полноты использования объема ковша и прочности фурмы.

Ввиду изложенного, для оптимизации процесса по конструктивным и технологическим параметрам необходимо иметь информацию об амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) при газожидкостном взаимодействии.

**Изложение основного материала. Методы решения. Описание экспериментального стенда.** Исследование проводилось на модели чугуновозного ковша, выполненной из органического стекла. Рабочая жидкость – вода с наливом  $H_g = 300$  мм. Рабочий газ – воздух, подаваемый через имитатор фурменного дутьевого устройства, заглубленного в жидкость на величину  $h_\phi = 200$  мм. Имитатор фурменного дутьевого устройства – трубка, имеет параметры:  $d_n = 3$  мм;  $d_{вн} = 2$  мм;  $d_c = 2, 0, 1, 8, 1, 6, 1, 4$  мм. Угол отклонения дутья от оси трубки  $\alpha = 0^\circ; 45^\circ; 90^\circ$ .

Газ, подаваемый на сопло фурменного устройства, последовательно проходил через регулирующий вентиль, манометр и батарею. Расход газа изменялся в диапазоне  $0,5 \div 2,0$  м<sup>3</sup>/ч.

Видеозапись велась на цифровую видекамеру VPC-HD1000 с затвором  $\sim 1/10000$  и частотой  $1/60$  кадр/сек в проходящем свете – источник света, модель ковша и объектив камеры размещались на одной оси. Видеозапись каждого режима процесса проводилась в течение 10 сек, за которые регистрировалось 600 кадров процесса. Отснятые материалы по каждому из режимов далее подвергались компьютерной обработке по специальной программе обработки видеозображений.

**Обработка и анализ видеозображений.** Целью обработки изображений является получение АЧХ при сопловой зоне, характеризующей АЧХ фурменного устройства.

При диспергировании газового образования – пузыря, имеет место развитие поверхности. Рассмотрим это на примере пузырей шаровой формы.

$$V_{\phi} = nV_M; \quad \frac{\pi \cdot D^3}{6} = n \frac{\pi \cdot d^3}{6},$$

откуда  $D = n^{1/3} \cdot d$ .

Здесь  $V_{\phi}, V_M$  и  $D, d$  – объемы и диаметры большого и малых пузырей;  $n$  – кратность диспергирования.

Поверхность первичного шара  $F_{\phi}$  и дисперсных образований  $F_M$  запишем в виде

$$\sum F_M = \pi d^2 \cdot n_1; \quad F_{\phi} = \pi D^2 = \pi d^2 \cdot n_1^{2/3};$$

$$n_3 = \frac{\sum F_M}{F_{\phi}} = \frac{n_1}{n_1^{2/3}} = n_1^{1/3}, \quad (1)$$

где  $n_1$  – величина диспергации вдуваемого газа, определенная по плоским поверхностям;  $n_3$  – кратность увеличения поверхности пузырей.

Видно, что с увеличением величины диспергации ( $n_1$ ) поверхность растет. Так, при  $n_1 = 10^3$  имеем 10-и кратное увеличение диспергированной поверхности.

Если обратиться к периметрам исходного  $P_{\phi}$  и диспергированных тел  $P_M$ , то получим

$$\sum P_M = n_2 \cdot \pi d; \quad P_{\phi} = \pi D = \pi d \cdot n_2^{1/3};$$

$$n_4 = \frac{\sum P_M}{P_{\phi}} = \frac{n_2}{n_2^{1/3}} = n_2^{2/3}, \quad (2)$$

где  $n_2$  – величина диспергации вдуваемого газа, определенная по периметрам плоских проекций;  $n_4$  – кратность увеличения периметров пузырей.

Далее, переходя к оценке проведенных экспериментов, примем, что размер образующегося в жидкости при заглубленном вдуве стартового (начального) газового пузыря пропорционален расходу дутья  $Q_c$  и обратно пропорционален частоте отрыва  $f$  его от дутьевого сопла фурмы

$$V_{\phi} = \frac{Q_c}{f}; \quad \frac{\pi D^3}{6} = \frac{Q_c}{f}; \quad D = \left( \frac{6 \cdot Q_c}{f \pi} \right)^{1/3}. \quad (3)$$

Используя выражение (3) и результаты экспериментов [4] по газосодержанию в виде  $S_s$ , запишем с учетом (1)

$$n_1^{1/3} = \frac{S_r \cdot 10^{-2}}{\pi D^2 / 4} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{\pi} \cdot \frac{S_r}{D^2},$$

где  $S_s = \frac{S}{F_{p.o.}} \cdot 100$ .

$$n_1 = \left( \frac{4 \cdot 10^{-2}}{\pi} \right)^3 \cdot \frac{S_s^3}{D^6} = \frac{2^6 \cdot 10^{-6}}{\pi^3} \cdot \frac{f^2 \cdot \pi^2 \cdot S_r}{6^2 \cdot Q_c^2}, \quad (4)$$

где  $F_{p.o.}$  – площадь рабочей области (область обработки видеозображения).

Таким образом, фактическое значение  $S$  площади проекции пузырей

$$S = S_s \times F_{p.o.} \times 10^{-2}.$$

Здесь множитель  $10^{-2}$  введен в связи с тем, что безразмерная величина  $S_s$  по результатам экспериментов представлялась в процентах.

Заменив  $S_z$  на  $S$  в (4), получим (далее сохраняем запись  $S_z$ , %)

$$n_1 = \frac{2^4 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 3^2} \cdot \frac{f^2 \cdot S_z^3 \cdot F_{p.o.}^3}{Q_r^2} = 0,565 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{f^2 \cdot S_z^3 \cdot F_{p.o.}^3}{Q_r^2} \quad (5)$$

Подставив фактическое значение  $F_{p.o.} = 5,36 \times 10^{-2} \text{ м}^2$  (по которому проводилась обработка экспериментов с трубками и макетами), и, дополнив (5) множителем  $3600^2$  (для удобства использования  $Q_z$  в размерности  $\text{м}^3/\text{ч}$ ), получим

$$n_1 = 1,13 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{f}{Q_r}\right)^2 \cdot S_z^3 \quad (6)$$

Проведем аналогичные операции в привязке к формуле (2), опираясь на измерения периметра  $\Pi_n$  поверхностей видеоизображений

$$n_2^{2/3} = \frac{\Pi_n \cdot F_{p.o.}}{\pi D} = \frac{F_{p.o.}}{\pi} \cdot \frac{\Pi_n}{(6Q_r/f\pi)^{1/3}} = \frac{F_{p.o.} \cdot \Pi_n}{\pi^{2/3} (6Q_r)^{1/3}} \cdot f^{1/3},$$

$$n_2 = \frac{F_{p.o.}^{3/2} \cdot \Pi_n^{3/2} \cdot f^{1/2}}{6^{1/2} \cdot Q_r^{1/2} \cdot \pi}$$

Далее, проведя аналогичные уравнению (5) подстановки, получим

$$n_2 = 96,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{f}{Q_r}\right)^{1/2} \cdot \Pi_n^{3/2} \quad (7)$$

Переписав уравнения (6) и (7) в форме (1) и (2), получим

$$n_3 = 0,1 \cdot S_r \left(\frac{f}{Q_r}\right)^{2/3}; \quad (8)$$

$$n_4 = 0,21 \cdot \Pi_n \left(\frac{f}{Q_r}\right)^{1/3} \quad (9)$$

Параметры  $n_3$  и  $n_4$  (каждый в отдельности) характеризуют развитие межфазной поверхности при заглубленном дутье для произвольной конструкции дутьевого устройства. Влияние конструкции отображено в экспериментально определяемых параметрах  $S_r$ ,  $\Pi_n$ ,  $f$  правой части (8) и (9) ( $Q_z$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  – задаваемая величина – режим продувки).

Если величины  $S_r$ ,  $\Pi_n$  определены прямыми измерениями видеоизображений кинограмм процесса, то

заключения по величине  $f$  можно делать по косвенным измерениям.

К такому относятся АЧХ волнообразования на поверхности жидкости в ковше и АЧХ присопловой зоны.

На рис. 1 дано представление результатов в обработке вида (8), где в записи  $n_3$  использована величина  $f$  по АЧХ на поверхности жидкости. Значение  $f$  определялось по наибольшему значению амплитуды. Исходные данные приведены на РКМ (режимных картах модели) продувок [4].

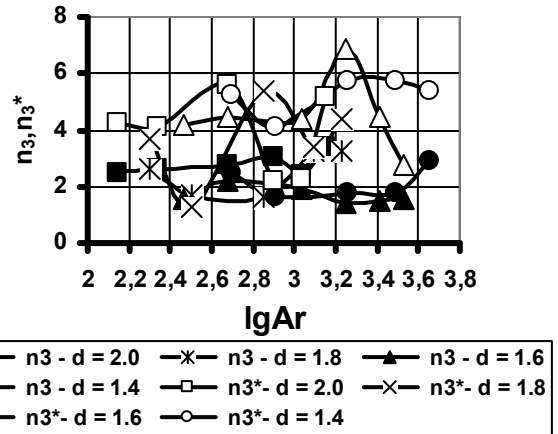


Рис. 1. Кратность увеличения поверхности пузырей по АЧХ волнообразования на поверхности ( $n_3$ ) и по АЧХ присопловой зоны ( $n_3^*$ , трубки  $\alpha=45^\circ$ , где  $Ar$  определяется по формуле (10))

На том же рисунке (рис. 1) в записи  $n_3^*$  использована величина  $f^*$  по АЧХ присопловой зоны. Величины  $f^*$  также определялись по наибольшему значению амплитуды.

На рис. 2 представлена обработка экспериментального материала в форме (9) с теми же вариациями  $f$  и  $f^*$ , что прописаны выше.

Здесь 
$$Ar = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{г}} \cdot \frac{Q_z^2}{gdF^2}, \quad (10)$$

где  $Q_z$  – расход ддуваемого газа;  $F$  – площадь поперечного сечения модели;  $d$  – диаметр сопла фурмы;  $\rho_{ж}, \rho_{г}$  – плотность (жидкость, газ).

По результатам, представленным на рис.1, видно, что величина  $n_3$  слабо изменяется с изменением величины  $lgAr$  ( $1 < n_3 < 3$ ). Зависимость  $n_3^*$  от  $lgAr$  зримо немонотонна и в исследованном диапазоне  $Ar$  изменяется в области  $1 < n_3^* < 7$ .

Значения параметра  $n_4$  для трубок  $45^\circ$  и макетов  $45^\circ$  плавно растет с ростом  $Ar$ , а немонотонность функции  $n_4^*(lgAr)$  менее выражена.

Знання характеру изменения параметров  $n_3$  и  $n_4$ , представленных на рис. 1, 2, является существенным для ориентировки в выборе режима дутья, поскольку определяют развитие межфазной поверхности, а следовательно массообмен – т.е. скорость и качество ведения процесса.

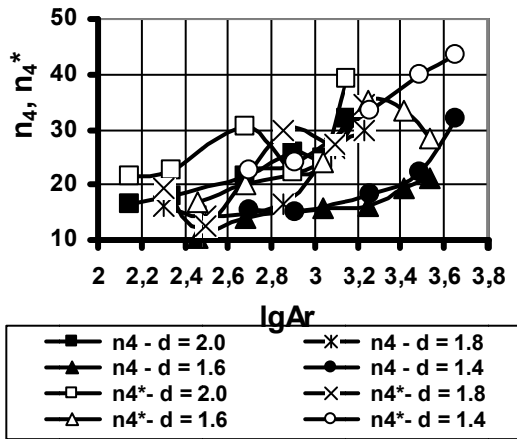


Рис. 2. Кратность увеличения периметров пузырей по АЧХ волнообразования на поверхности ( $n_4$ ) и по АЧХ присопловой зоны ( $n_4^*$ ), трубки  $\alpha = 45^\circ$ , где  $Ar$  определяется по формуле (10)

Более обстоятельное заключение по представленным результатам можно будет сделать при сопоставлении их с соответствующими данными по массообмену на модельных экспериментах или промышленных продувках.

Ранее немонотонный характер изменения массообменных процессов при погружном дутье отмечался в работах Повха И.Л. и Давидсона В.Е.

Между тем выбор характеристического значения  $f$  не ограничивается представленными результатами.

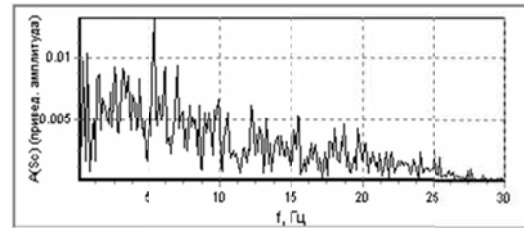
На рис. 3 дан пример определения эффективной частоты  $f^{**}$ , найденной по наибольшему значению динамической компоненты ( $u^* = A \cdot f$ , м/с), определенной по АЧХ присопловой зоны.

Здесь на первом графике АЧХ присопловой зоны. Видно, что наибольшее значение амплитуды имеет место при  $f \approx 5,5 \text{ с}^{-1}$ . Перестроив этот график в параметрах  $u^* = A \cdot f - f$ , где  $A$  – амплитуда, получим, что наибольшие динамические изменения имеют место при  $f^{**} = 18,75 \text{ с}^{-1}$ . Здесь же проведены еще два значения  $f_2^{**} = 15,47 \text{ с}^{-1}$  и  $f_3^{**} = 19,5 \text{ с}^{-1}$ , отличающиеся по величине и от  $u_{max}(f=f^{**})$  не более 10%.

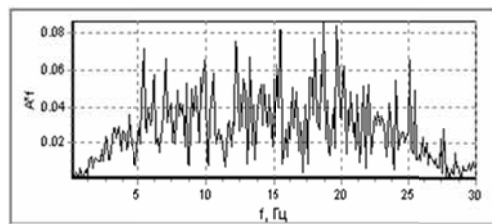
На рис. 4, 5 представлены  $f^{**}(Q_2)$  и  $f^{**}(u)$  для исследованных схем конструкций. Значения  $f^{**}$  даны как наибольших динамических изменений, так и отличающихся от них (по величине  $u$ ) не более 10%.

Видна тенденция установления некоторого постоянного значения  $f^{**}$  с превышением некоторого значения  $Q_2$  или  $u$ . Так для трубок  $45^\circ$  и макетов  $45^\circ$  значение  $f^{**} = 15 \text{ с}^{-1}$  устанавливается постоянным при

$Q_2 > 0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $u = 60 \text{ м/с}$ , а для трубок  $90^\circ$ , соответственно, при  $Q_2 > 1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $u = 140 \text{ м/с}$  имеем  $f^{**} = 20 \text{ с}^{-1}$ . Следует отметить, что указанные значения  $f^{**}$  являются не абсолютно постоянными величинами, а преимущественными значениями параметра.



а



б

Рис. 3. Пример определения частоты: а – по спектру  $A - f$ ; б – эффективной – по максимальному значению  $u^* = A \cdot f$  ( $f_1^{**} = 18,75$ ;  $f_2^{**} = 15,47$ ;  $f_3^{**} = 19,50$ )

На графиках рис. 4 и 5 видно, что имеют место как значения  $f^{**}$  больше указанных констант, так и меньше. Последнее, вероятно, связано с неустойчивостью струи пульсирующей в газожидкостной среде.

На рис. 6 дана обработка экспериментального материала в критериях  $n^{**}(f^{**}) - \lg Ar$ . Видно, что в сравнении с обработкой, приведенной на рис. 1, 2, рост параметров  $n_3^*$  и  $n_4^*$  с ростом  $Ar$  более выражен, однако немонотонность изменения функции (на отдельных диаметрах сопел трубок  $45^\circ$  и трубок  $90^\circ$ ) сохраняется.

Здесь также приведены аналогичные зависимости для трубок  $\alpha = 0^\circ$ . Видно, что параметры  $n_3^{**}$  и  $n_4^{**}$  для них в 2–3 раза ниже соответствующих величин для других схем (конструкций).

Следует отметить, что среднюю интегральную частоту дробления вдуваемого газа можно найти, приравняв число деления при дроблении поверхностей ( $n_1$ ) и дроблении периметров ( $n_2$ )

$$1,13 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{f}{Q_r}\right)^2 \cdot S_c^3 = 96,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{f}{Q_r}\right)^{1/2} \cdot \Pi_n^{3/2},$$

тогда

$$f = 19,4 \cdot \frac{Q_r \cdot \Pi_n}{S_c^2} \quad (11)$$

Подставив в (11) несколько значений экспериментальных данных для трубки  $45^\circ$ , получим (таблица)

Таблиця

Расчет частот по видеоизображению

№ эксп	$d_o$ , мм	$Q_o$ , м <sup>3</sup> /ч	$P_{in}$ 1/м	$S_o$ , %	$f$ , с <sup>-1</sup>
69	2,0	2,10	120	25,0	7,8
77	2,0	0,50	42	6,8	8,8
100	1,4	1,86	121	18,5	12,7
108	1,4	0,36	36	5,7	7,7

Полученные результаты отвечают диапазону частот, измеренных в присопловой области. Изложенное показывает, что приведенными схемами можно вести оценку частоты дробления пузырей вдуваемого газа у оголовка фурмы.

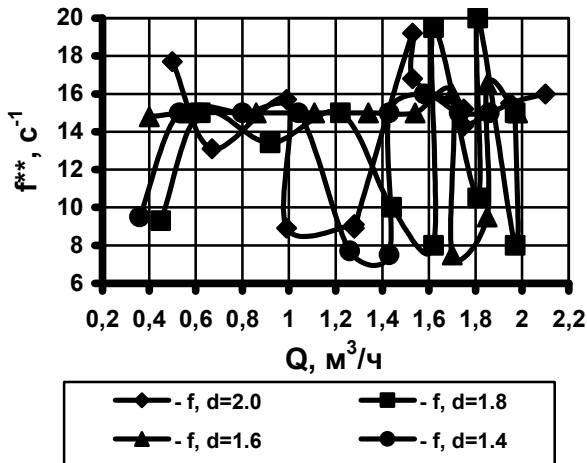


Рис. 4. Частоты эффективные ( $f^{**}$ ) по максимальным значениям  $u^*=Af$  в присопловой области, трубки  $\alpha=45^\circ$ ;  $u$  – скорость газа на выходе дутьевого устройства

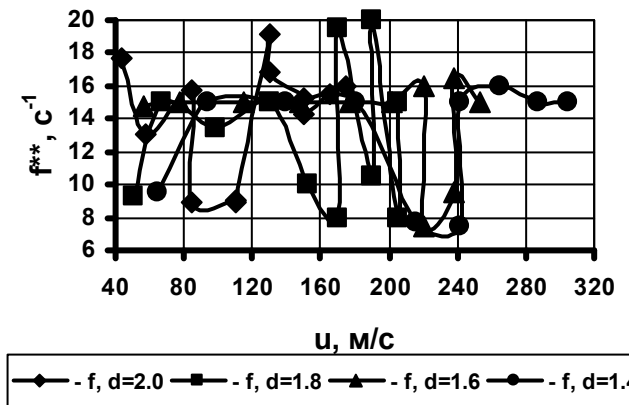
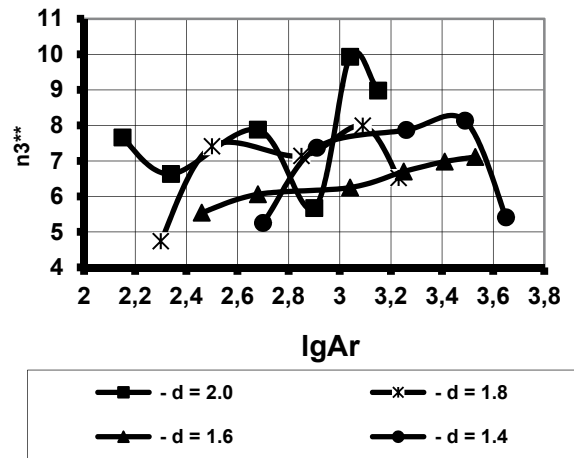


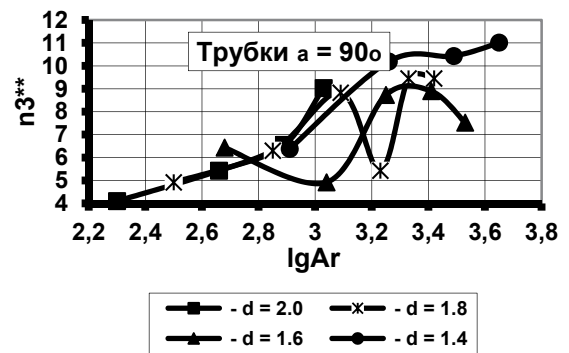
Рис. 5. Частоты эффективные ( $f^{**}$ ) по максимальным значениям  $u^*=Af$  в присопловой области, трубки  $\alpha=45^\circ$ ;  $u$  – скорость газа на выходе дутьевого устройства

Если провести измерение пульсаций газа в газовом тракте канала фурмы и интенсифицировать их (часто-

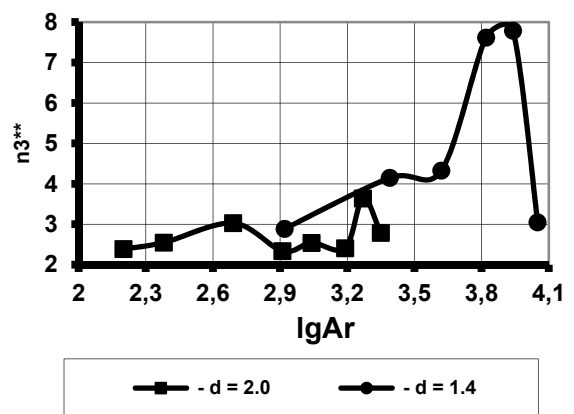
ту пульсаций), то при неизменном расходе газа ( $Q_o$ ), как следует из (8) и (9), получим увеличение кратности периметров и межфазных поверхностей – подыдем эффективность массообмена.



а



б



в

Рис. 6. Кратность увеличения поверхности пузырей  $n_{3^{**}}$  по АЧХ эффективной (максимальное значение  $u^*=Af$ ): а – трубки  $\alpha=45^\circ$ ; б – трубка  $\alpha=90^\circ$ ; в – трубки  $\alpha=0^\circ$ , где  $Ar$  определяется по формуле (10)

**Выводи.** Авторами проведено експериментальне дослідження ефективності заглибленого дуття в жидкість в ковше по оцінці АЧХ в присоплової області і на поверхні жидкості при різних конструкціях дуттьового пристрою. На основі аналізу статистическої обробки відеоізображень процесу:

- определена значимая часть колебаний газожидкостной системы в присоплової області по максимальным динамическим воздействиям ( $u^* = A \cdot f$ );

- установлено, что величина значимой частоты ( $f^{**}$ ) практически не зависит от режима дуття, но различается для разных конструкций:  $f^{**} = 15$  для трубок  $45^\circ$  и  $f^{**} = 20$  для трубок  $90^\circ$ ;

- предложена схема оценки эффективности заглибленого продувки по параметрам кратности развития межфазной поверхности в ковше ( $n_3, n_4$ );

- установлено, что при некоторых конструкциях дуття возможно проявление немонотонности изменения эффективности процесса с изменением режима продувки.

### Список литературы / References

1. Моделирование гидрогазодинамических процессов в полости промежуточного ковша машины непрерывной разливки стали / Найдек В.Л., Тарасевич Н.И., Гончар Б.С. [и др.] // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. – № 5. – С. 73–77.

Naydek, V.L., Tarasevich, N.I., Gonchar, B.S., Belousov, V.V. and Komarov, V.F. (2009), "Modeling of hydro-gas-dynamic processes in a cavity of a tundish ladle of the continuous steel casting machine", *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, no 5, pp. 73–77.

2. Xu, X., Brooks, G.A., and Yang, W. (2010), "Online analysis of stirring processes in ladle metallurgy", *Metallurgical and Materials Transactions. Part B*, Vol. 41, no. 5, pp. 1025–1032.

3. Goldschmit, M.B. and Owen, A.H.C. (2001), "Numerical modelling of gas stirred ladles", *Ironmaking & Steelmaking*, Vol. 28, no. 4, pp. 337–341.

4. Компьютерная обработка кинограмм процесса взаимодействия газовых струй с жидкостью / Рuzова Т.А., Толстопят А.П., Шевченко А.Ф., Шевченко С.А. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – № 12. – С. 91–96.

Ruzova, T.A., Tolstopyat, A.P., Shevchenko, A.F. and Shevchenko, S.A. (2007), "Computer processing of interaction between gas jets and liquid", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, Dnipropetrovsk, no. 12, pp. 91–96.

Газорідинна взаємодія є однією з основних у ряді технологічних процесів

**Мета.** Визначення амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) газорідинної взаємодії (при занурювальному продуванні технологічної ванни) – хвилеутворення на поверхні рідини у ванні й АЧХ присоплової зони, що характеризує АЧХ фурменого пристрою.

**Методика.** Досліджується газорідинна взаємодія на прозорій моделі технологічного апарату. Модельна рі-

дина – вода, модельний газ – повітря (витрата –  $0,4 \div 2,0 \text{ м}^3/\text{год}$ ). Дуттьовий пристрій з кутом відхилення сопла наконечника  $\alpha = 0^\circ; 45^\circ; 90^\circ$  від осі фурми занурено в рідину. Реєстрація процесу велася на відеокамеру (VPC-HD1000 з затвором  $\sim 1/10000\text{с}$ , 60 кадр/сек) у прохідному світлі. Отриманий відеоматеріал оброблявся на комп'ютері, у результаті чого були визначені АЧХ, аналоги газомісту, фазової поверхні та коефіцієнти кратності диспергування.

**Результати.** На підставі аналізу результатів статистичної обробки відеозображень процесу отримана залежність ефективності диспергування бульбашок у ванні від режиму дуття та конструкції фурми. Запропоноване визначення ефективної частоти  $f^{**}$ , знайденої за найбільшим значенням динамічної компоненти АЧХ присоплової зони:  $u = A \cdot f$ . Виявлена немонотонність ступеня диспергації від зміни режиму дуття в досліджуваному діапазоні  $10^2 < Ar < 10^4$ .

**Наукова новизна.** Проведене експериментальне дослідження з визначення ефективності різних конструкцій заглиблених дуттьових пристроїв за відеозображеннями газорідинної взаємодії в технологічному апараті.

**Практична значимість.** Результати досліджень застосовуються при розробці схем і режимів дуття при позапічній обробці металу у чавуновозних ковшах.

**Ключові слова:** виробництво чавуну, дуття в рідині, обробка відеозображення, фурма, коливання, частота

Gas-liquid interaction is one of the key features in a number of technological processes.

**Purpose.** To evaluate amplitude-frequency characteristics (AFC) of the gas-liquid interaction (at submersible blow of technological tank). AFC of wave formation on the liquid surface in the tank and of at-nozzle zone characterizing AFC of tuyère unit.

**Methodology.** We investigate the gas-liquid interaction using a transparent model of technological apparatus. Model liquid is water; model gas is air (consumption –  $0.4 \div 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Blowing device with angle of nozzle tip deviation from tuyère axis  $\alpha = 0^\circ; 45^\circ; 90^\circ$  is immersed into liquid. The process is recorded by camcorder (VPC-HD1000 with shutter  $\sim 1/10000\text{s}$ , 60fps) in transmitted light. The resulting video material is processed by computer. AFC, gas content and phase surface analogs and dispersion magnification factors are evaluated.

**Findings.** Based on statistical analysis of process images, we obtain the dependence of bubbles dispersing efficiency in the tank on blowing mode and tuyère design. We propose definition and evaluation of effective frequency  $f^{**}$ , found by the highest AFC dynamic component of at-nozzle zone:  $u = A \cdot f$ .

We have found non-monotony of dispersion degree dependence on blowing mode changes in the investigated range  $10^2 < Ar < 10^4$ .

**Originality.** An experimental study on determination the effectiveness of different designs of submersible

blowing devices by video images of gas-liquid interaction in technological unit.

**Practical value.** Research results are applied in developing schemes and blowing modes for out-of-furnace metal working in hot-metal ladle cars.

**Keywords:** *iron making, blowing into liquid, video image processing, tuyere, oscillations, frequency*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Корсуном. Дата надходження рукопису 23.12.13.*

УДК 681.5:621.317

**В.В. Овсяников**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина, e-mail: ovsyanikov.ngu@mail.ru

## ІНФОРМАЦІОННЕ ОБЕСПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КАЧЕСТВОМ ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

**V.V. Ovsyanikov**

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: ovsyanikov.ngu@mail.ru

## INFORMATION PROVISION OF POWER-PLANT FUEL QUALITY CONTROL SYSTEM

**Цель.** Создание системы информационного обеспечения для управления качеством топлива на тепловых электростанциях или других теплогенерирующих объектах с целью повышения энергетической эффективности и экономичности их работы.

**Методика.** Разработана техническая схема и алгоритм работы программного обеспечения системы диагностики показателей качества топлива для тепловых электростанций и других теплогенерирующих объектов. Предложено программное обеспечение для микроконтроллера и ЭВМ, которое позволяет определять показатели качества топлива с учетом особенностей используемой микроволновой автоматизированной измерительной аппаратуры. Выполнены испытания разработанной системы диагностики удельной теплоты сгорания топлива на тепловой электростанции двумя различными способами в специализированной лаборатории и третьим – на конвейере с углем.

**Результаты.** Обоснован выбор идеологии построения информационного обеспечения системы для определения показателей качества топлива, включающего аппаратную базу вместе с соответствующим программным обеспечением. В результате испытаний и вероятностно-дисперсионной оценки всех влияющих факторов, погрешность определения удельной теплоты сгорания топлива в специализированной лаборатории предприятия двумя различными способами находится в пределах 5–8% при затрате времени на исследование одной пробы от 15 до 30 минут, а при контроле удельной теплоты сгорания топлива в режиме реального времени на конвейере третьим способом – погрешность полученных результатов возрастает и составляет от 10 до 20%.

**Научная новизна.** Впервые предложена структура, аппаратная база, алгоритм работы и программное обеспечение информационной системы, которая позволяет определять значения показателей качества топлива на тепловых электростанциях и других теплогенерирующих объектах с использованием микроволновой автоматизированной измерительной аппаратуры. Предложено три новых способа применения измерительной аппаратуры в системе информационного обеспечения, которые имеют улучшенные показатели точности и времени при определении значений удельной теплоты сгорания топлива.

**Практическая значимость.** Применение на предприятиях предложенной системы информационного обеспечения, апробированной в специализированной лаборатории теплоэлектростанции, позволит повысить точность и сократить время определения значений параметров качества топлив и, тем самым, повысить энергетическую эффективность и экономичность работы теплогенерирующих объектов.

**Ключевые слова:** *система информационного обеспечения, тепловые электростанции, удельная теплота сгорания топлива, аппаратное и программное обеспечение*

**Постановка проблемы.** В настоящее время для обеспечения работы теплоэлектростанций (ТЭС) и других теплогенерирующих объектов, в основном, применяются такие виды топлива как уголь, природный газ и нефть. Для обеспечения необходимого режима горения, эти компоненты зачастую используют-

ся одновременно в определенном соотношении. Одной из основных характеристик качества топлива для тепловых электростанций или других теплогенерирующих объектов является удельная теплота сгорания (УТС). Величина удельной теплоты сгорания топлива оказывает значительное влияние на процесс горения и генерирование тепла. Поэтому, перед загрузкой в топку, определение УТС топлива с максимально возмож-