

Изучение гидродинамических параметров работы устройств, предназначенных для создания низкочастотного пульсирующего расхода газообразных сред

Проведены эксперименты на специально созданном лабораторном стенде и установлено значение коэффициента местного сопротивления нестандартной вращающейся заслонки, предназначенной для создания пульсирующего расхода газообразных сред. Также изучена зависимость коэффициента местного сопротивления данного устройства от частоты вращения.

Ключевые слова: вращающаяся заслонка, пульсирующий расход газообразных сред, коэффициент местного сопротивления, импульсное отопление

Обзор существующих публикаций. В настоящее время в Украине возрастает интерес к технологиям импульсного отопления теплотехнологических агрегатов. В сравнении с традиционным способом ведения процессов нагрева и охлаждения, появляется возможность усилить коэффициент конвективной теплоотдачи на 20-30 %. В связи с этим достигается интенсификация теплообмена, выравнивание температуры газообразной среды в объеме камерных агрегатов, а также экономия топлива.

В работе [1] приведены преимущества реализации импульсного отопления, которые состоят в следующем: высокая скорость истечения горящих газов в рабочее пространство печи, а также интенсификация тепло- и массообмена, что позволяет повысить скорость нагрева заготовки за счет увеличения конвективной составляющей теплообмена и равномерность температуры в рабочем пространстве печи за счет интенсивного перемешивания греющей среды. Авторами также сделано важное уточнение – применение импульсного нагрева в разрабатываемых и модернизируемых на данный час печах требует обязательного нового теплового перерасчета. Просто замена обычных горелок на высокоскоростные, поддерживающие импульсную подачу топлива и обустройство импульсной подачи (автоматизация процесса), не принесет ожидаемых высоких результатов. Несомненно, результат при импульсной подаче топлива будет выше, чем при обычной системе, но отсутствие теплотехнических перерасчетов приведет к нерациональной работе горелочных устройств и, разумеется, к недостижению ожидаемых результатов.

Одним из способов импульсного отопления является создание пульсирующего расхода топлива и воздуха при помощи специальных устройств, простейшим из которых является дроссельный клапан с полным перекрытием канала [3].

Согласно данным работы [4] более простые технические решения по созданию пульсаций могут быть получены при использовании вращающихся заслонок, которые при повороте на 90° создают 70-90 % перекрытия канала. При этом упрощается

устройство привода и схема управления, а также исключается возможность заклинивания заслонки. Один из таких пульсаторов использовался для определения коэффициента теплоотдачи от заготовки к охлаждающему воздуху при пульсирующем расходе воздуха с частотой 0,5-2,0 Гц, при этом экспериментально было установлено усиление коэффициента теплоотдачи на величину до 30 % [4].

Также известны импульсные горелки, в которых тепловая нагрузка, а значит, расходы топлива и воздуха меняются по команде процессорного контроллера. Существенными преимуществами таких горелок являются: более высокое качество тепловой обработки изделий, более низкие потери, большая гибкость управления технологическим процессом по сравнению с традиционными способами сжигания топлива. Этот эффект является результатом лучшей температурной однородности и более плотного регулирования параметра температура-время. [5]

Таким образом, в настоящее время вопросы импульсного ведения процессов нагрева и охлаждения изделий достаточно актуальны. Эти процессы все еще активно развиваются, но для того, чтобы оценить эффективность их применения, необходимо знать гидравлические характеристики устройств, исследуемых для создания пульсирующего расхода газообразных сред.

Целью данной работы является экспериментальное изучение гидродинамических параметров работы устройств, предназначенных для создания низкочастотного пульсирующего расхода газообразных сред, и определение коэффициента местного сопротивления нестандартной вращающейся заслонки.

Изложение основного материала. Для исследования процесса импульсного теплообмена и определения коэффициента местного сопротивления заслонки была использована лабораторная модель камерной печи с двадцатью соплами для истечения воздуха. Модель геометрически подобна камерной печи с выкатным подом, в которой могут реализовываться операции нагрева, выдержки и воздушного охлаждения заготовок. В подводящем трубопроводе

установлен пульсатор, представляющий собой заслонку, создающую 87 % перекрытия сечения канала при повороте на 90° . Заслонка, в свою очередь, размещена на валу, вращаемом электродвигателем с помощью ременной передачи, при этом имеется возможность изменения частоты вращения. Движение заслонки происходит по гармоническому синусоидальному закону. Заявленный процент перекрытия сечения канала получен, исходя из практических соображений – при внутреннем \varnothing 45 мм разводящего трубопровода отступ заслонки по периметру канала выбран на уровне 1,5 мм для исключения заклинивания заслонки и снижения уровня перегрузки нагнетателя за счет отсутствия полного перекрытия канала. Схематичное изображение пульсатора представлено на рис. 1.

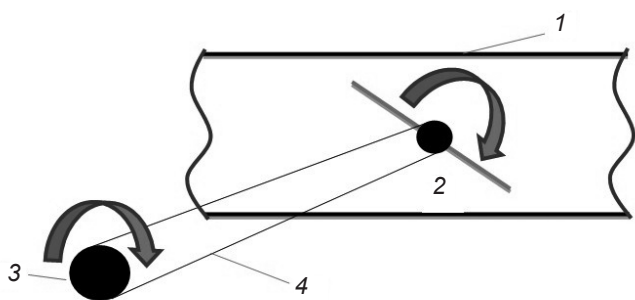


Рис. 1. Пульсатор в подводящем трубопроводе: 1 – подводящий трубопровод, 2 – вращающаяся заслонка, 3 – электродвигатель, 4 – ременная передача

Данная модель печи была подключена к сети с нагнетателем типа ПН-125-65. Трубопровод сети выполнен из гофрированной трубы \varnothing 35 мм и длиной 5 м, на которой присутствуют повороты: пять – на 90° и четыре – на 45° . По ходу канала расположено устройство для измерения расхода типа РГ-40. К каналу присоединена лабораторная модель печи, в которой диаметр трубопроводов равен 45 мм. Перед самой печью на ее трубопроводе установлена заслонка для создания пульсаций, после которой поток совершает поворот на 90° и, разделяясь на два направления, направляется к соплам на истечение. После истечения воздух удаляется через отверстие в своде лабораторной установки. Графическое изображение сети и установки приведено на рис. 2.

Канал, по которому движется охлаждающая среда, является не прямым. Он имеет четыре поворота на 45° и пять – на 90° . Коэффициенты местного сопротивления ($k_{м.с.}$) для данных участков были определены по справочнику [3] и составляют $k_{м.с.}^{45^\circ} = 0,6$, $k_{м.с.}^{90^\circ} = 1,0$ соответственно. Коэффициент трения для гофрированного трубопрово-

да первого участка принят равным 0,05. С учетом [3] при $\psi = 0,85$ для истечения из форсунок $k_{м.с.} = 0,384$. В каждом моментальном положении заслонки ее $k_{м.с.}$ имеет различные значения, поэтому в данной работе рассматривается усредненное значение $k_{м.с.}$ за промежуток времени, минимальное значение которого равно периоду вращения заслонки.

В основу методики определения искомого коэффициента местного сопротивления вращающейся заслонки положено сопоставление гидродинамических параметров работы установки в импульсном и безимпульсном режимах.

Для определения $k_{м.с.}$ заслонки на данной установке проведен ряд экспериментов при разных частотах вращения заслонки. Эксперименты в импульсном и безимпульсном режимах проводились при использовании одной и той же гидравлической сети. Единственным отличием является то, что при безимпульсном режиме угол поворота исследуемой заслонки фиксировался на уровне 0° , и в процессе эксперимента она оставалась неподвижной. Всего было проведено четыре эксперимента: один – в безимпульсном режиме и три – в импульсном, при частотах вращения заслонки 0,83, 1,13 и 1,6 Гц. В течение проведения каждого эксперимента фиксировались значения расходов воздуха при помощи расходомера и статических напоров нагнетателя при помощи U-образного манометра (таблица).

В качестве устройства для измерения расхода газообразной среды использовался расходомер типа РГ-40. Измерение прокачиваемого количества воздуха производились в течение 5 мин для каждой частоты, чтобы уменьшить ошибки определения секундного расхода среды.

В результате проведения экспериментов были получены следующие данные для импульсного и безимпульсного режимов: P – напор, создаваемый дутьевым устройством; ΔP – разность давления,

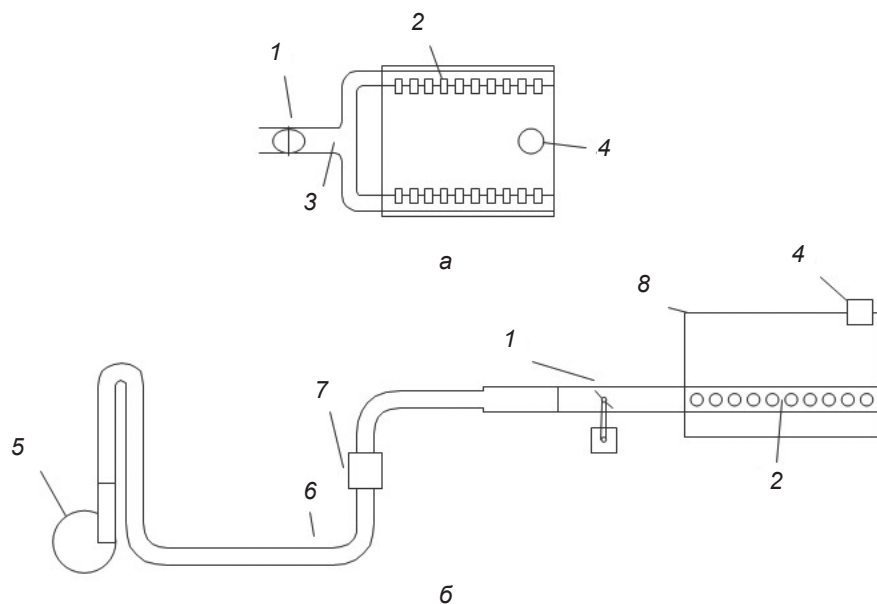


Рис. 2. Схематичное изображение сети: вид сверху на лабораторную установку (а); вид на сеть сбоку (б); 1 – пульсирующая заслонка; 2 – сопла; 3 – раздающий короб; 4 – отверстие выхлопа; 5 – нагнетатель; 6 – гофрированный трубопровод; 7 – расходомер; 8 – лабораторная модель

Экспериментальные данные

Номер эксперимента	Частота пульсаций, Гц	Время измерения, с	Количество воздуха, м ³ за время измерения	Расход воздуха, м ³ /с	Создаваемый напор, P, Па
1	0	300	4,58	0,015267	1930
2	0,833	300	3,95	0,013167	2230
3	1,133	300	3,95	0,013167	2230
4	1,6	300	3,95	0,013167	2230

установившегося в камере и атмосферного воздуха; V – расход среды.

Эти данные в количественном выражении для каждого из режимов составили:

– для безимпульсного режима: $P_6 = 1930$ Па; $\Delta P_6 = 46$ Па, $V_6 = 0,015$ м³/с;

– для импульсного режима: $P_n = 2230$ Па, $\Delta P_n = 34,5$ Па, $V_n = 0,013$ м³/с.

Эксперимент показал, что для импульсных режимов количество воздуха, прокачиваемого дутьевым устройством, не изменяется при разных частотах пульсаций, но в то же время оно ниже, чем при безимпульсном режиме.

Чтобы определить значение коэффициента местного сопротивления вращающейся заслонки были рассмотрены выражения для определения суммарных потерь при безимпульсном и импульсном режимах:

$$P_6 = \left(\sum k_{\text{м.с.}}^{\text{путь}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} + \sum \left(\lambda \cdot \frac{l_{\text{кан}}}{d_{\text{тр}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \right) + \Delta P_6, \quad (1)$$

$$P_n = \left(\sum k_{\text{м.с.}}^{\text{путь}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} + k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}} \times \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} + \sum \left(\lambda \cdot \frac{l_{\text{кан}}}{d_{\text{тр}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \right) + \Delta P_n, \quad (2)$$

где $\sum k_{\text{м.с.}}^{\text{путь}}$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений всех поворотов в канале от вентилятора до истечения из форсунок, включая коэффициент местного сопротивления устройства для измерения расхода; $k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}}$ – искомый коэффициент местного сопротивления вращающейся заслонки; ρ – плотность воздуха при температуре окружающей среды, кг/м³; ω – скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с; λ – коэффициент трения трубопровода; $l_{\text{кан}}$ – длина канала, м; $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода, м.

Для определения искомого коэффициента местного сопротивления вращающейся заслонки $k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}}$ произведено вычитание выражения (2) из (1). При этом выполнена замена скорости среды на каждом участке соотношением $V/F_{\text{тр}}$. В результате математических преобразований получено следующее выражение:

$$k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}} = \frac{(P_n - \Delta P_n) - (P_6 - \Delta P_6) \cdot V_n^2 / V_6^2}{\rho V_n^2 / 2 F_{\text{тр}}^2}. \quad (3)$$

Подставив полученные в результате эксперимента значения величин, входящих в выражение (3), получим $k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}}$ равное 20,95.

Исходя из гармонического закона колебания вращающейся заслонки очевидно, что эквивалентный угол поворота неподвижной заслонки равен 45°. Из данных работы [3] известно, что заслонки с полным перекрытием канала имеют коэффициент местного сопротивления 21 ± 7 % при угле поворота 45° (рис. 3). В данной работе для заслонок с 87 % перекрытием получен $k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}}$ равный 20,95, который можно округлить до 21 для использования этого значения $k_{\text{м.с.}}^{\text{засл.}}$ в практических расчетах.

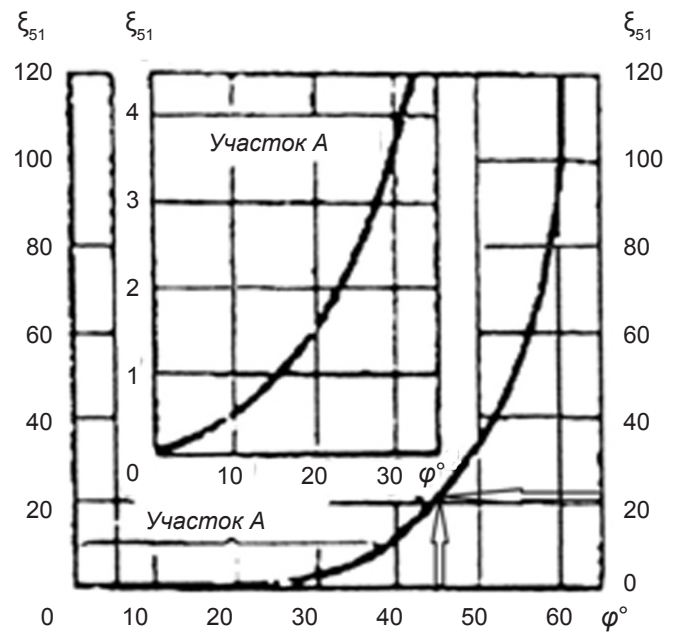


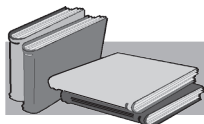
Рис. 3. Изменение коэффициента местного сопротивления стандартной заслонки от угла поворота

Также важным результатом исследования является то, что рассматриваемый коэффициент местного сопротивления исследованной вращающейся заслонки не зависит от частоты вращения.

Выводы

В диапазоне частот колебания расхода среды 0,5-2,0 Гц, создаваемых исследуемым пульсатором, количество прокачиваемой среды при прочих равных условиях не зависит от частоты пульсаций.

Установлено, что коэффициент местного сопротивления исследованной вращающейся заслонки с 87 %-ым перекрытием канала составляет 21.



ЛИТЕРАТУРА

1. Центр реконструкции металлургических производств технологий и оборудования «Леон» / технология импульсного нагрева — (http://www.proekt-met.spb.ru/impuls_nagrev.html)
2. О применении импульсного режима отопления в печах камерного типа / М. П. Ревун, Ю. Н. Каюков, В. И. Иванов, Ю. В. Мосейко / Запорожская государственная инженерная академия (http://www.rusnauka.com/18_DNI_2011/Tecnic/5_89328.doc.htm)
3. Гідрогазодинаміка у теплотехніці: Навчальний посібник / Ю. Л. Курбатов, М. С. Масс, В. В. Кравцов та ін. – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 234 с.
4. Бірюков А. Б., Энергоэффективность и качество тепловой обработки материалов в печи. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2012. – 247 с.
5. Импульсное горение. / Джордж Дж. Паулонис, Брайен Холл, и Карл Е. Фраме. // УКРСПЕЦТЕХНИК, Импульсное управление горелками. – (<http://ustic.com.ua/impulsnoe-upravlenie-gorelkami.html>).

Анотація

Бірюков О. Б., Гнітійов П. О.

Вивчення гідродинамічних параметрів роботи пристроїв, призначених для створення низькочастотної пульсуючої витрати газоподібних середовищ

Проведено на спеціально створеному лабораторному стенді експерименти та встановлено значення коефіцієнта місцевого супротиву нестандартної заслонки, що обертається для створення пульсуючої витрати газоподібного середовища. Вивчена залежність коефіцієнта місцевого супротиву даного пристрою від частоти обертання.

Ключові слова

заслонка що обертається, пульсуюча витрата газоподібного середовища, коефіцієнт місцевого супротиву, імпульсне опалення

Summary

Birukov A. B., Gnitiev P. A.

Research of hydrodynamic parameters of devices designed to create a low-frequency pulsating flow of gaseous medium

It was carried out an experiment on the laboratory bench that was specially made, and defined local resistance coefficient of nonstandard rotary damper that using to create pulsating flow of gaseous medium. It was explored too that local resistance coefficient of this device depends on rotation frequency.

Keywords

rotary damper, pulsating flow of gaseous medium, local resistance coefficient, impulse heating

Поступила 29.01.14