

УДК 697.4:681.12.08

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕТОВОЙ МЕТКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ВЫХОДЕ ГОРЕЛОК НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

ЯКОВИШИН А. С.<sup>1</sup>, студент,  
ЧЕРНОЙВАН А. А.<sup>2\*</sup> зав. лаб.

<sup>1</sup> Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжение, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: genomorphosis@yandex.ru ORCID ID: 0000-0002-3817-4191

<sup>2\*</sup> Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжение, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chernoivan@i.ua ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

**Аннотация.** Цель. Измерение скорости горячих потоков газа и, связанный с ней расход, одно из самых востребованных в технике. Основанный на измерениях методом меток, предложен простой способ определения скорости выхода продуктов сгорания из пеллетной горелки. **Методика.** В статье описана конструкция измерительного оборудования. Горизонтальная часть газохода имеет цилиндрический участок. В нем есть два отверстия, на входе которых смонтированы светонепроницаемые держатели, в которых во время измерений размещаются фотодатчики. Они изготовлены из керамики и в тоже время служат также теплоизоляторами. Предусмотрена фокусирующая щель, которая, не ограничивая угол зрения по сечению газохода, не дает искрам, которые только подлетают, засвечивать фотодатчик. Этим обеспечивается хорошая сепарация искр в группе. Два фотоприемника, расположенные на расстоянии 50 см друг от друга, фиксируют пролет искр и с помощью несложной электронной схемы подаются на вход многоканального осциллографа. Осциллограммы, осложненные групповым хаотичным движением, полученные от двух фотодатчиков, в оцифрованном виде обрабатываются функцией корреляции. **Результаты.** Предложена методика измерения скорости высокотемпературного газа. Разработана конструкция фотоприемников. Способ измерения скорости газозооной смеси применялся при исследовании и испытаниях различных конструкций горелок на пеллетах. **Научная новизна и практическая значимость.** Этот метод определения скорости теплоносителя может конкурировать с традиционными способами измерений, выигрывая своей компактностью, дешевизной и минимальным вмешательством в устройство газохода.

*Ключевые слова:* скорость высокотемпературного потока; световая метка; фотодатчик горелка на пеллетах

## ПРО ВИКОРИСТАННЯ СВІТОВОГО МАРКЕРУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ НА ВИХОДІ ПАЛЬНИКІВ НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ

ЯКОВИШИН А. С.<sup>1</sup>, студент,  
ЧОРНОЙВАН А. А.<sup>2\*</sup> зав. лаб.

<sup>1\*</sup> Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: genomorphosis@yandex.ru ORCID ID: 0000-0002-3817-4191

<sup>2\*</sup> Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chernoivan@i.ua ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

**Анотація.** Мета. Вимірювання швидкості гарячих потоків газу і, пов'язана з нею, витрата є одна з найбільш затребуваних в техніці. Заснований на вимірах методом маркерів, запропоновано простий спосіб визначення швидкості виходу продуктів згоряння з пелетного пальника. **Методика.** В статті описана конструкція вимірювального обладнання. Горизонтальна частина газоходу має циліндричний ділянку. У ньому є два отвори, на вході яких змонтовані світлонепроникні тримачі, в яких під час вимірювань розміщуються фотодатчики. Вони виготовлені з кераміки і одночасно служать також теплоізоляторами. Передбачена щілина, що фокусує, і яка, не обмежуючи кут зору по перетину газоходу, не дає іскрам, що тільки підлітають, засвічувати фотодатчик. Цим забезпечується краща сепарація іскор в групі. Два фотоприймача, розташовані на відстані 50 см один від одного, фіксують проліт іскор і за допомогою нескладної електричної схеми сигнали з них подаються на вхід багатоканального осциллографа. Осцилограми ускладнені груповим хаотичним рухом, які отримані від двох фотодатчиків, в цифрованому вигляді обробляються функцією кореляції. **Результати.** Запропонована методика вимірювання швидкості потоку високотемпературного газу. Розроблено конструкцію фотоприймачів. Спосіб вимірювання швидкості газоповітряної суміші застосовувався при дослідженні і випробуваннях різних конструкцій пальників на пелетах. **Наукова новизна і практична значущість.** Цей метод визначення швидкості

теплоносія може успішно конкурувати з традиційними способами вимірювань, виграючи своєю компактністю, дешевизною і мінімальним втручанням в пристрій газоходу.

*Ключові слова:* швидкість високотемпературного потоку; світловий маркер; фотоприймач, пальник на пелетах

## ON THE USE OF A LIGHT TAG FOR MEASURING THE SPEED OF A GAS-AIR MIXTURE AT THE OUTPUT OF BURNERS ON SOLID FUEL

YAKOVYSHYN A. S. *stud*,  
CHERNOIVAN A. A. <sup>1\*</sup>, *head of lab*.

<sup>1\*</sup> Department of system analysis and modeling in teplogazosnabženii, a State institution of higher education “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Chernishevskogo str., 24-A, Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: genomorphesis@yandex.ru ORCID ID: 0000-0002-3817-4191

<sup>2\*</sup> Department of system analysis and modeling in teplogazosnabženii, a State institution of higher education “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Chernishevskogo str., 24-A, Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: chernoivan@i.ua ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

**Abstract. Purpose.** Measuring the flow rate of hot gas and the related consumption, one of the most popular technique. Based on the measurement method marker proposed method of determining the exit velocity of the pellet combustion burner. **Methodology.** This paper describes the design of the measuring area. The horizontal part of duct cylindrical portion. It has two holes are mounted on the input light-owners. Holders of ceramics, which are located in the photo sensor measurements serve as thermal insulator. Provided focusing slit that, without limiting angle cross section duct, prevents sparks flying from the far turn on the photoreceptor. This ensures separation group sparks. Two sensor located at a distance of 50 cm from each record flying sparks and using simple circuits fed to the input of multi-channel oscilloscope. Oscillogram from two photo sensor in the form of processed digitization krosskorrelyatsionnoy function. **Results.** The technique of measuring the speed of high-gas mixture. The design of the photo detector. The method of measuring the speed of the gas mixture used in the research and testing various designs pellets burners. **The scientific novelty and practical significance.** This method of determining the velocity of the coolant can compete with traditional methods of measurement, winning their compactness, low cost and minimal interference in the duct device.

*Keywords:* high-speed flow; light marker photo detector burner for pellets

### Введение

Измерение скорости горячих потоков газа и, связанный с ней, расход теплоносителя [6] одно из самых востребованных в технике теплоэнергетики [1,5,9]. Существующие методы измерения скорости потока [7], в т.ч. при использовании эффекта Доплера [4,6] с применением ультразвука, осложняются очень сильной крупноячейстой турбулентностью потока. Кроме того, проникающее периодически пламя догорающих газов случайным образом резко меняет плотность и температуру в небольших объемах по сечению газохода. Температура газов на выходе в нормальном режиме не более 600 – 800 °С, при дефиците вторичного воздуха. Ключья пламени могут сильно разогреть ближние, до 3м., участки газохода. При этом температура газов колеблется в больших пределах, что существенно затрудняет какие-либо измерения. Эти же причины ставят под сомнение использование трубок Пито [4]. Применение лазерных установок, кроме финансовых ограничений, требует существенного вмешательства в геометрию газохода. Известные датчики – анемометры, выпускаемые в Швейцарии, изготовлены в конструкциях из стекла и по условиям применения не

допускают работу в агрессивных средах даже при наличии паров воды.

Основанный на измерениях методом меток, способ определения скорости движения продуктов сгорания не требует никакого вмешательства в конструкцию газохода, при минимальных затратах на измерительные датчики. Способ светящейся метки [3], практически применялся в исследованиях работы различных конструкций пеллетной горелки.

### Цель

Цель данной работы – экспериментально подтвердить возможность использования меточного метода с использованием светящихся меток (искр) для измерения скорости выходных газов работающей горелки на пеллетах.

### Методика

**Методика измерений и описание конструкции датчиков.**

Выходная горизонтальная, ближайшая к работающей горелке, часть газохода имеет цилиндрический участок. В нем имеются два отверстия, на входе которых смонтированы светонепроницаемые держатели. Держатели из керамики служат теплоизоляторами, в них на время измерений размещаются фото-

приемники [8]. В торце предусмотрена фокусирующая щель, которая, не ограничивая угол зрения по сечению газохода, не дает летящим искрам еще на подлете засвечивать фотодатчик. Этим обеспечивается сепарация искр в группе. На рисунке 1 приведено фото держателя с фотоприемником.



Рис. 1. Фото держателя датчика /  
Photo of the sensor holder

Конструкция держателя предусматривает прохождение наружного воздуха вдоль снаружи и внутри керамики, этим достигается достаточно эффективное охлаждение полупроводникового элемента фотодатчика и поддержание его температуры в допустимых пределах. В топках и газоходах любых конструкций поддерживается небольшой вакуум, поэтому воздух подсасывается в отверстие, способствуя охлаждению. Измерения проводятся сериями не дольше 10 минут.

В процессе работы горелки, особенно в момент загрузки очередной порции пеллет, в выходящую трубу попадают искры группами и по одиночке. Два фотоприемника, расположенные на расстоянии 50 см друг от друга, фиксируют пролет светящихся искр и с помощью несложной электронной схемы сигналы от них подаются на вход многоканального осциллографа [2].

Яркость ключевых пламени пролетающих мимо отверстий для наблюдения существенно меньше яркости горящей искры, однако её объём, а стало быть и площадь излучения, велики и это даёт заметные помехи при измерениях.

Движение газовой смеси на выходе горелки и особенно в начале газохода носит явно выраженный крупночастичный характер турбулентности. Мелкие раскаленные частички пепла летят в потоке выходных газов, воспроизводя траекторию движения газа. Время жизни части искр достаточно большое, так искры наблюдались на выходе 30 метрового инфракрасного обогревателя теплицы.

Сгустки пламени, а также групповой характер летящих искр обусловили необходимость цифровой обработки осциллограмм, что в значительной мере повысило достоверность измерений. Осциллограммы, полученные от двух фотодатчиков  $f_1$  и  $f_2$ , в оцифрованном виде обрабатываются [10] кросскорреляционной функцией:

$$(f_1 * f_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\tau) f_2(t + \tau) dt$$

Способ измерения скорости газовой смеси применялся при исследовании и испытаниях различных конструкций горелок на пеллетах [11]. На рисунке 2 приведен пример осциллограммы одиночной искры от двух датчиков.

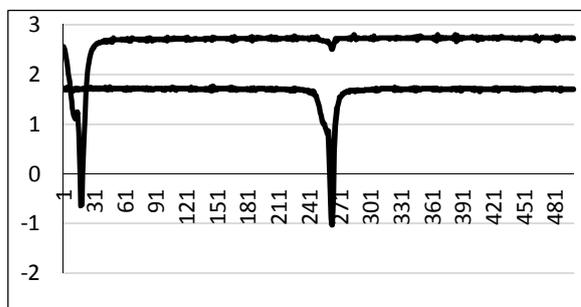


Рис. 2. Пример осциллограмм /  
Example of oscillograms

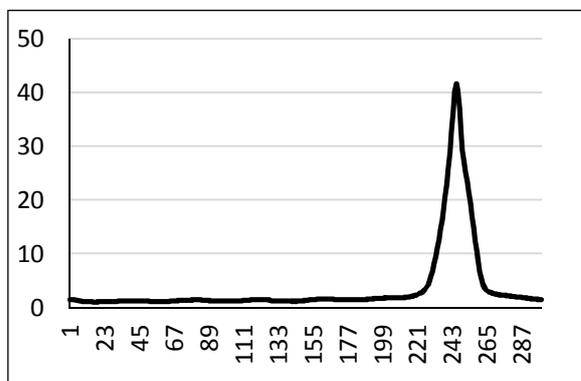


Рис. 3. Функция корреляции сигналов /  
Signal correlation function

На приведенном рисунке №3 максимум функции приходится на сдвиг  $\tau = 243$  мксек, который означает время пролета расстояния 50 см между отверстиями газохода, что соответствует скорости в 2 м/сек.

### Результаты

На рисунке 4 приведены результаты измерений скорости потока при различных режимах работы горелок с номинальной мощностью от 7 до 15 кВт.

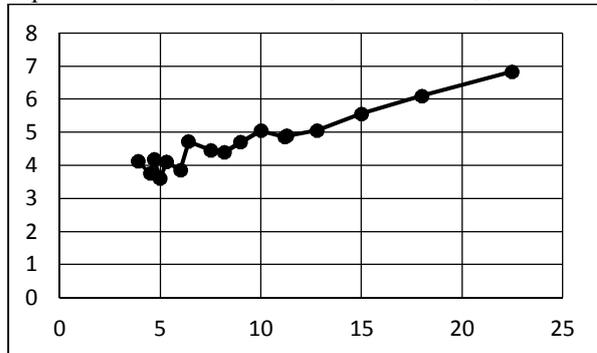


Рис. 4. Скорость потока газов /

*Gas flow rate*

Практические измерения показывают большой, до 20 %, разброс измеренных значений скорости, обусловленный крайне сильной турбулентностью потока особенно в начале газохода в режиме обедненной смеси.

**Научная новизна и практическая значимость**

Метод светящихся меток определения скорости теплоносителя может конкурировать с традиционными способами измерений на сужающей диафрагме или измерений ультразвуком, а также экзотическими лазерными установками, выигрывая своей

компактностью, дешевизной и минимальным вмешательством в устройство газохода.

**Выводы**

На основе проведенных экспериментов с использованием светящихся искр при работе горелок на пеллетах можно заключить, что применение данного способа измерения скорости, с точностью  $\pm 10\%$ , возможно и для горелок на брикетах или другом органическом топливе.

Привлекает простота конструкции датчика, а при подборе искусственных светящихся меток имеем достаточно универсальный способ измерения скорости высокотемпературных потоков газа, в условиях недоступных для других методов.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Алавердов С. Н. Теплообмен при дозвуковом течении высокотемпературного газа в пространственных криволинейных каналах / С. Н. Алавердов, А. Б. Ватажин, В. А. Сепп // Изв. №3 АН СССР МЖГ, 1989.- С. 93-99.
2. Аналогоцифровой ввод LGraph2. Руководство пользователя. – Москва, 2012.- 98 с.
3. Барсук Р. В. Спосіб виміру швидкості та витрат високотемпературного газоповітряного потоку : патент / Р. В. Барсук, А. А. Чорноиван // МПК G01D 9/00 від 10.10.2016.
4. Безвесільна О. М. Витратометрія та витратоміри : монографія / О. М. Безвесільна. - Житомир : ЖДТУ, 2011. - 220 с.
5. Ватажин А. Б. Интенсификация теплообмена при деформации профиля скорости / А. Б. Ватажин, М. А. Потокин, Е. К. Холщевникова. - Изв. РАН МЖГ. – 1993. - №4. С. 94-105.
6. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики веществ : справочник / П. П. Кремлевский. – кн. 2. – Киев : Политехника, 2004. – 412 с.
7. Пістун Є. П. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску : монографія / Є. П. Пістун, Л. В. Лесовой – Львів : Видавництво ЗАТ „Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв”, 2006. - 576 с.
8. Потеев М. И. Избранные труды по фотометрии и светотехнике / М. И. Потеев.- сост. СПб., 2000.-284 с.
9. Рыбаков В. В. Термодинамический расчет высокотемпературного газа / В. В. Рыбаков. – М., 1968.- 116 с.
10. Скороход А. В. Введение в теорию случайных процессов / А. В. Скороход, И. И. Гихман. - М., 1965.- 107 с.
11. Чорноиван А. А. К вопросу об устойчивости и управляемости ТГУ на пеллетах / А. А. Чорноиван, К. О. Голощапов // – Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 84. ГВУЗ “ПГАСА”, 2015. – С. 203-206.

**REFERENCES**

1. Alaverdov S.N., Vatajyn A.B. and SeppV.A. *Teploobmen pri dozvykovom techenii vysokotemperaturnogo gaza v prostranstvennyh krivolinyeynih kanalah* [Heat transfer during subsonic flow of high-temperature gas in spatial curvilinear channels]. 1989, issue 3, pp. 93–99. (in Russian).
2. *Analogozifrovoy vvod* [Analog input]. Moskva, 2012, 98 p. (in Russian).
3. Barsuk R.V. and Chornoivan A.A. *Sposib vymiru shvydkosti ta vytrat vysokotemperaturnogo gazopovtriannogo potoku* [The method of measuring the speed and cost of high-gas flow]. Pat., 2016, pp. 1–4. (in Russian).
4. Bezvesilna O.M. *Vitratometriya ta vitratomiri: monografiya* [Flow and flow]. J., JDТУ Publ., 2011, 220 p. (in Russian).
5. Vatajin A.B. and Potokin M.A. *Intesificaciya teploobmena pri defomacii profilya scorosti* [Intensification of heat transfer during deformation of the velocity profile]. 1993, issue 4, pp. 94–105. (in Russian).
6. Kremlevskyy P. P. *Rashodomeru i schetchiky veschestv: spravochnik* [Flowmeters and counters of substances]. Kiev, Politehnika Publ., 2004, 412 p. (in Russian).
7. Pistun E.P. and Lesoviy L.V. *Normuvannya vitratomiriv zminnogo perepadu tisku* [Rationing ASCD pressure drop]. Lviv, ZAT “Institut energoauditu ta obliku energonosiv” Publ., 2006, 576 p. (in Russian).
8. Poteev M.I. *Izbrannie trudi po fotometrii i svetoteshnike* [Selected works on photometry and lighting equipment]. SPb Publ., 2000, 284 p. (in Russian).
9. Rybakov V.V. *Termodinamichskiy raschet visokotemperaturnogo gaza* [Thermodynamic calculation of high-temperature gas]. Moskva, 1968, 116 p. (in Russian).
10. Skorothod A.V. and Githman I.I. *Vvedenie v teoriu sluchainith processov* [Introduction to the theory of random processes]. Moskva, 1965, 120 p. (in Russian).
11. Chornoyvan A.A. and Holoshchapov K.O. *K voprosu ob ustoichyvosti i upravliaemosti TGU na pelletakh* [On the issue of the stability and controllability of TSU on pellets]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov*

[Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2015, issue 84, pp. 203–206. (in Russian).

*Стаття рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. А. С. Беликовым (Украина); д-ром.техн.наук, проф. С. З. Полищуком (Украина)*

Стаття надійшла в редколегію 29.03.2017