

**АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА**

С.В. Долгов, А.С. Заворин\*, А.Ю. Долгих\*, Р.Н. Фисенко\*

МУП «Теплоснабжение», г. Нижневартковск

\*Томский политехнический университет

E-mail: sergeydolgov555@rambler.ru

Приведена конструктивная схема рассматриваемого горелочного устройства. Проведены аэродинамические испытания данного горелочного устройства с углеродистой структурой зернистого заполнения активной зоны горения с целью оценки возможности его применения при использовании в качестве энергоносителей жидких и газообразных топлив. Приведена методика выполненных измерений и описание экспериментального стенда. В графиках и таблице изложены результаты оценки аэродинамических сопротивлений по тракту насыпного слоя горелки, лежащих в разных диапазонах скоростей подаваемого воздуха, при различном количестве открытых перфораций цилиндра. На основании полученных экспериментальных данных сделаны выводы об обеспеченности рабочей зоны активного окисления горелочного устройства необходимыми расходами воздуха. Таким образом, подтверждена возможность проведения дальнейших исследований разработанного прототипа горелочного устройства на стенде тепловых испытаний.

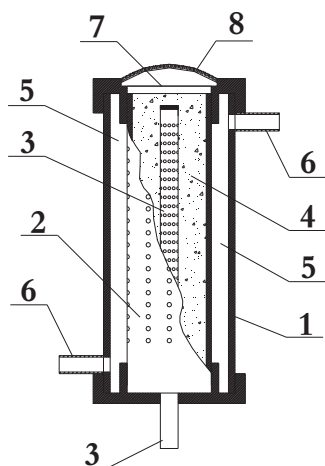
**Ключевые слова:***Горелочное устройство, аэродинамические испытания, криптол, пористая структура, топливовоздушная смесь.*

По мере истощения энергетических ресурсов обостряется вопрос масштабного использования низкосортного сырья в качестве энергоносителя. Это стимулирует разработку проблем эффективной утилизации таких некондиционных топлив, как попутный газ, синтез- и биогазы, конденсаты, отходы мазутных хозяйств, машинных масел и др., при обеспечении надежной эксплуатации топливосжигающего оборудования. Практика показывает, что, прежде всего, предстоит преодолеть затруднения, связанные с качеством углеводородного сырья, на которое, в свою очередь, в значительной мере влияет технологический уровень систем подготовки к сжиганию. Например, наличие минеральных примесей в виде мелкодисперсных частиц (песок, ржавчина из трубопроводов и резервуаров, солевые отложения), наличие парафина являются причиной абразивного износа конструктивных элементов горелочных устройств, отложений в топливоподающих каналах, системах распыления и истечения с частичным или полным перекрытием их сечения. Такие явления, как отсутствие однородности топливной смеси при фракционном расслоении ее структуры в результате длительного хранения, попадание газолина при сбоях в системах дренирования конденсата из газопроводов, ведут к нестабильному, пульсирующему горению вплоть до погасания факела и высокой вероятности взрывов горючей смеси в камерах сгорания. Последствиями вышеперечисленных ситуаций становятся уменьшение межремонтного цикла и сокращение ресурса горелочного устройства, неполнота сгорания топлива и образование токсичных соединений в продуктах горения, внеплановые остановы для восстановительного ремонта основного оборудования и соответственно этому увеличение капитальных затрат.

Возможности для решения технических и экологических аспектов проблемы сжигания низкосортных углеводородных топлив, прежде всего в ма-

лой энергетике, открывает использование горелочных устройств беспламенного горения с инфракрасными излучателями [1, 2]. В предложенных вариантах их исполнения [3, 4] подготовка топливовоздушной смеси и последующее ее сжигание происходит внутри пористого материала (криптола), из которого сформирована рабочая зона горения. Такой принцип исключает возможность развития критического объема для взрыва и способствует предотвращению проскока пламени [5], тем самым обеспечивая эффективность и безопасность при сжигании как низкокалорийных, так и высококалорийных жидких и газообразных топлив. Особенностью процесса горения в жаростойкой засыпке является увеличение скорости реакции окисления, за счет чего в условиях теплопередачи излучающих частиц засыпки обеспечивается предварительный прогрев топлива. Уменьшение размера реакционных зон (пор, образованных частицами засыпки) способствует увеличению этого эффекта [6].

Результаты испытаний первичного варианта горелочного устройства [3] были использованы для конструктивных изменений, направленных на повышение надежности и эксплуатационного ресурса. Усовершенствованная конструкция горелочного устройства (рис. 1) состоит из корпуса – 1, внутри которого размещен перфорированный цилиндр – 2, ограничивающий рабочую зону горения, внутри которого установлен топливный инжектор – 3. Перфорированный цилиндр – 2 заполнен засыпкой – 4 в виде пористого неметаллического материала (криптол). Топливный инжектор – 3 представляет собой трубку из нержавеющей стали с перфорациями для распыления топлива. Пространство между корпусом – 1 и перфорированным цилиндром – 2 представляет собой воздушный коллектор – 5, к которому подведены штуцеры – 6. Вверху корпуса – 1 выполнено выходное окно – 7 для отвода дымовых газов, над которым закреплен сетчатый насадок-излучатель – 8.

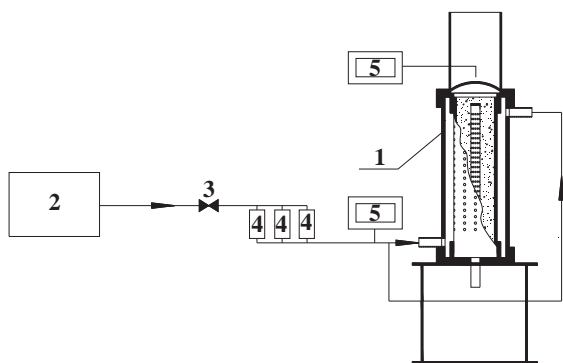


**Рис. 1.** Конструктивная схема горелочного устройства: 1 – корпус; 2 – перфорированный цилиндр; 3 – топливный инжектор; 4 – пористая засыпка (рабочая зона); 5 – воздушный коллектор; 6 – штуцеры воздухоподачи; 7 – выходное окно; 8 – сетчатый насадок-излучатель

В данной конструкции в качестве вторичного излучателя выступает перфорированный цилиндр, имеющий высокую жаростойкость и малую чувствительность к неравномерностям распределения тепловых потоков в рабочей зоне горения в процессе активного окисления топливовоздушной смеси.

Воздушный коллектор – 5 выполняет функцию камеры для предварительного подогрева первичного воздуха, идущего на горение. Обеспечить этот процесс предполагается за счет теплообмена между внешней поверхностью перфорированного цилиндра и подводимым воздухом, что улучшает подготовку топливовоздушной смеси и повышает полноту сгорания топлива даже при сжигании некондиционных топлив.

Работоспособность описанного выше горелочного устройства зависит от аэродинамической устойчивости в создании необходимого диапазона значений коэффициента избытка воздуха, при котором обеспечивается требуемая полнота сгорания топлива. Для ответа на этот вопрос проведены «холодные» аэродинамические испытания горелочного устройства на специальном стенде, устройство которого показано на рис. 2, 3.



**Рис. 2.** Схема стенда аэродинамических испытаний: 1 – горелочное устройство; 2 – компрессор; 3 – регулировочный вентиль; 4 – ротаметры (тип 5); 5 – тягонапорометры (тип ТДЖ)

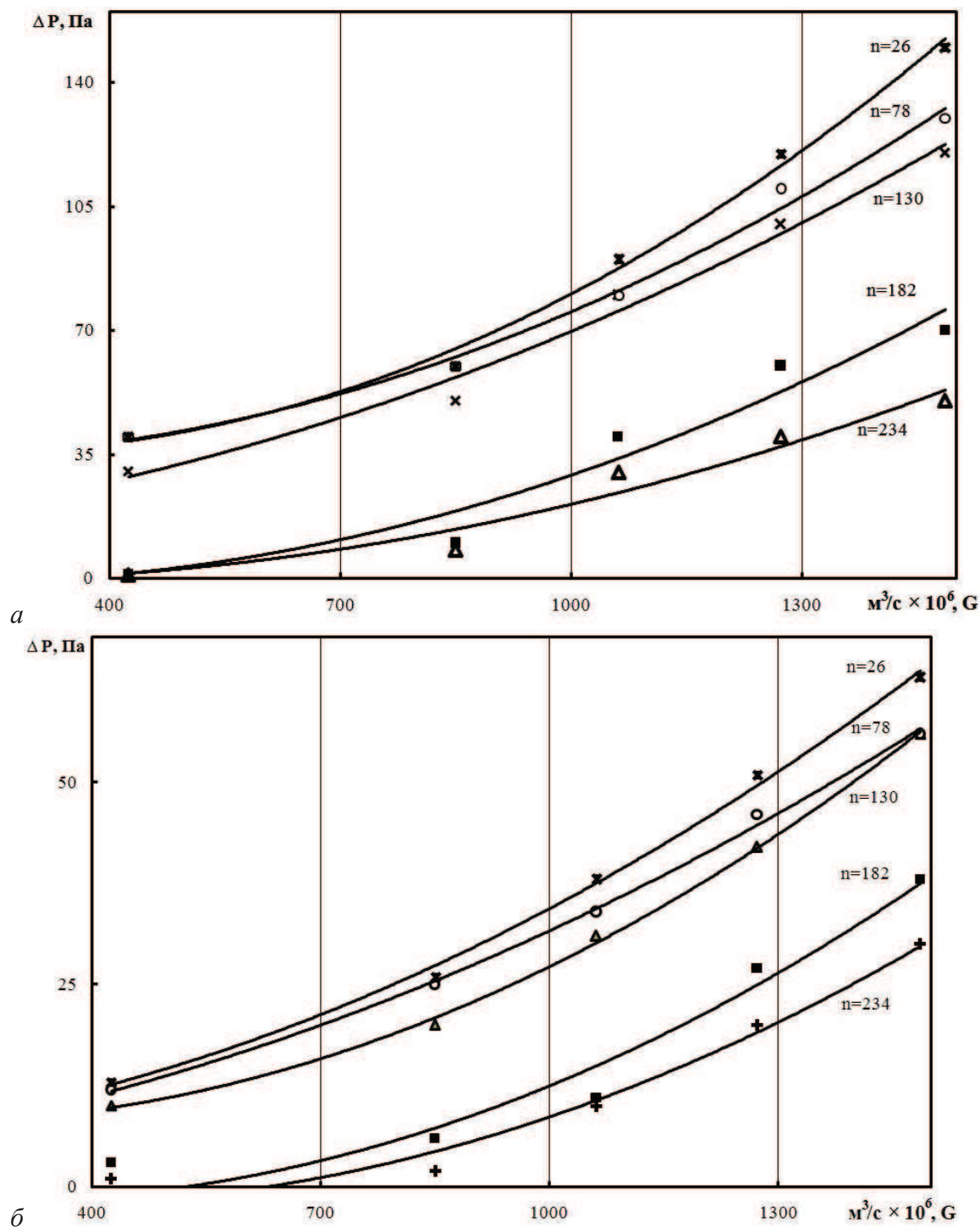


**Рис. 3.** Внешний вид испытательного стенда

**Таблица.** Результаты аэродинамических испытаний при разном размере фракций засыпки рабочей зоны

Доля открытых перфораций цилиндра, %	Расход воздуха через горелку, м <sup>3</sup> /с, ×10 <sup>6</sup>	Аэродинамическое сопротивление горелки, Па	
		Фракция, мм	
		3...5	5...7,5
100	425	1	1
	850	8	2
	1061	30	10
	1272	40	20
	1486	50	30
77,8	425	1	3
	850	10	6
	1061	40	11
	1272	60	27
	1486	70	38
55,6	425	30	10
	850	50	20
	1061	80	31
	1272	100	42
	1486	120	56
33,3	425	40	12
	850	60	25
	1061	80	34
	1272	110	46
	1486	130	56
11,1	425	40	13
	850	60	26
	1061	90	38
	1272	120	51
	1486	150	63

Методика измерений, согласно рис. 2, заключается в определении разности полных давлений воздушной среды, фиксируемых тягонапорометрами на входе и выходе воздушного тракта горелочного устройства. Для этого через линию воздухоподачи, соединенную с горелочным устройством – 1, подается воздух посредством его нагнетания компрессором – 2. Расход и напор подаваемого воздуха изменяются с помощью регулировочного вентиля – 3,



**Рис. 4.** График зависимости аэродинамического сопротивления горелочного устройства от расхода воздуха: а) фракция засыпки 3...5 мм; б) фракция засыпки 5...7,5 мм;  $n$  – количество открытых перфораций цилиндра

соответственно контролируются с помощью трех параллельно установленных ротаметров – 4 и установленных на входе-выходе воздушного тракта горелки тягонапорометров – 5. При этом воздух, поступающий в воздушный коллектор, проходит через отверстия перфорированного цилиндра и пористую засыпку рабочей зоны горения. В ходе эксперимента изменялось также количество открытых отверстий по длине перфорированного цилиндра

сверху вниз, тем самым уменьшая общее проходное сечение для воздуха через перфорации цилиндра и криптоловую засыпку рабочей зоны горелки. Поскольку аэродинамическое сопротивление слоя рабочей зоны зависит от размера формирующих ее частиц, который в ходе эксплуатационного цикла пористой засыпки уменьшается, были выполнены серии экспериментов при заполнении рабочей зоны фракциями криптола 3...5 и 5...7,5 мм.

С целью повышения достоверности измерений производилось 5-кратное определение значения сопротивления при изменении каждого параметра. При этом согласно [7] относительная погрешность прямых измерений составила  $\delta=3,2\%$ .

Результаты аэродинамических испытаний отображены в таблице и в виде графических зависимостей аэродинамических сопротивлений горелочного устройства от расхода воздуха (рис. 4).

Проведенный эксперимент показал, что аэродинамическое сопротивление горелочного устройства с заполнением криптолом средним размером фракции 3..5 мм изменяется от 1 до 150 Па при увеличении расхода воздуха через горелку от 0,00045 до 0,001486 м<sup>3</sup>/с и последовательном уменьшении количества открытых отверстий цилиндра от 234 до 26 шт. При аналогичных условиях аэродинамическое сопротивление горелочного устройства с засыпкой криптолом фракцией 5...7,5 мм изменяется от 1 до 63 Па. Таким образом, при увеличении размера фракций в исследованном диапазоне удельное со-

противление слоя засыпки уменьшается почти до 2,4 раза. Полученные зависимости, изображенные на графиках (рис. 4), являются квадратичными функциями и тем самым не противоречат теоретическим основам динамики исследуемого процесса.

#### Выводы

1. Аэродинамическими испытаниями установлено наличие незначительных сопротивлений тракта испытываемой модификации горелочного устройства и показана возможность работы в широком диапазоне значений расхода воздуха, необходимым для обеспечения процессов полного горения топлива.
2. Подтверждена возможность поддержания необходимых расходов воздушной среды в рабочую зону активного окисления горелочного устройства при механическом засорении перфораций воздушной камеры.

*Работа выполнена в рамках госзадания на НИР (тема № 2.59.2012).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгов С.В., Долгих А.Ю., Макеев А.А. Испытания горелочного устройства инфракрасного излучения беспламенного горения // Теплофизические основы энергетических технологий: сб. науч. трудов III Всерос. научно-практ. конф. – СПб.: Изд-во Экспресс; Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 150–154.
2. Абдрафиков Е.Ш., Долгов С.В. Совершенствование конструкции горелочного устройства инфракрасного излучения беспламенного горения // Современные техника и технологии: сб. трудов XIX Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – Т. 3. – С. 191–192.
3. Долгов С.В., Заворин А.С., Долгих А.Ю., Субботин А.Н. Испытания горелочного устройства беспламенного горения и инфра-

красного излучения // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 4. – С. 39–42.

4. Горелочное устройство инфракрасного излучения: пат. пол. модель 129599 Рос. Федерация. № 2012141632/06(067033); заявл. 28.09.2012; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18. – 3 с.
5. Талантов А.В. Основы теории горения. Ч. 1. – Казань: КАИ им. А.Н. Туполева, 1975. – 273 с.
6. Беляев А.Ф., Боболев В.К., Коротков А.И., Сулимов А.А., Чуйко С.В. Переход горения конденсированных систем во взрыв. – М.: Наука, 1973. – 292 с.
7. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. – Л.: Наука, 1974. – 108 с.

*Поступила 03.08.2013 г.*

UDC 621.181.2.016:662.951.2

## AERODYNAMIC TESTS OF A BURNER

S.V. Dolgov, A.S. Zavorin\*, A.Yu. Dolgikh\*, R.N. Phisenko\*

Teplosnabzhenie, Nizhnevartovsk  
\*Tomsk Polytechnic University

*The paper introduces the structural scheme of the considered burner device. The authors have carried out the aerodynamic tests of the burner device with carbonaceous structure of active zone granular filling for estimating the possibility of its application when using liquid and gaseous fuels as energy carriers. The measurement procedure and the experimental stand description are introduced. The table and the schedules introduce the assessment results of aerodynamic resistance on a torch bulk layer path being in different ranges of given air speeds at various quantity of cylinder open perforation. On the basis of the obtained experimental data the conclusions are drawn on security of a working zone of the burner device active oxidation with desired air flow. Thus, the possibility of carrying out bench thermal tests of the burner device is proved.*

#### Key words:

*Burner, aerodynamic tests, kriptol, porous structure, air-fuel mixture.*

## REFERENCES

1. Dolgov S.V., Dolgikh A.Yu., Makeev A.A. Ispytaniya gorelochno-ustroystva infrakrasnogo izlucheniya besplamennogo gorenija. Teplofizicheskie osnovy energeticheskikh tekhnologiy. *Sbornik nauchnykh trudov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Testing the burner of infrared radiation of flameless combustion. III All-Russian research and training conference). Saint Petersburg, Ekspres; Tomsk: TPU, 2012. pp. 150–154.
2. Abdrafikov E.Sh., Dolgov S.V. Sovershenstvovanie konstruktssii gorelochnogo ustroystva infrakrasnogo izlucheniya besplamennogo gorenija. *Sovremennye tekhnika i tekhnologii. Sbornik trudov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* (The improvement of the design of of flameless combustion. XIX International research and training conference of students, postgraduates and young scientists). Tomsk, TPU, 2013. 3, pp. 191–192.
3. Dolgov S.V., Zavorin A.S., Dolgikh A.Yu., Subbotin A.N. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013. 322, 4, pp. 39–42.
4. *Gorelochnoe ustroystvo infrakrasnogo izlucheniya* (The burner of infrared radiation). Patent RF, no. 2012141632/06(067033); 2013.
5. Talantov A.V. *Osnovy teorii gorenija* (Bases of internal combustion). Part 1. Kazan, KAI im. A.N. Tupoleva, 1975. 273 p.
6. Belyaev A.F., Bobolev V.K., Korotkov A.I., Sulimov A.A., Chuyko S.V. *Perekhod gorenija kondensirovannykh sistem vo vzryv* (The transfer of condensed system combustion into explosion). Moscow, Nauka, 1973. 292 p.
7. Zaydel A.N. *Oshibki izmereniy fizicheskikh velichin* (Errors in measurement of physical quantities). Leningrad, Nauka, 1974. 108 p.

УДК 532.54

## УНИВЕРСАЛЬНОЕ ДРОССЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

С.В. Долгов, Р.Н. Кулеш\*, В.Ю. Половников\*, С.Е. Шалыгин\*

МУП «Теплоснабжение», г. Нижневартовск

\*Томский политехнический университет

E-mail: polov@tpu.ru

Приведено описание конструкции новой регулируемой дроссельной шайбы, лабораторного стенда для исследования ее характеристик и результаты экспериментального определения коэффициентов гидравлического сопротивления рассматриваемой шайбы. Сделан обоснованный вывод о перспективности применения предложенного устройства для регулировки расхода жидкостей или газов в различных системах вследствие сравнительной простоты его конструкции и существенной дешевизны по сравнению с существующими аналогами. Отмечена необходимость проведения дальнейших экспериментальных исследований предлагаемой регулируемой дроссельной шайбы в широком диапазоне изменения геометрических характеристик и расходов рабочей среды с целью выявления границ возможного применения предлагаемого устройства в различных отраслях промышленности.

**Ключевые слова:**

Регулируемая дроссельная шайба, лабораторный стенд, гидравлические сопротивления, эксперимент, регулирование расхода.

**Введение**

Возросшие требования к надежности и другим технико-экономическим показателям регулирующей арматуры в различных отраслях промышленности обусловили необходимость постоянного поиска новых конструктивных решений, материалов и технологий изготовления, направленных на создание высоконадежной, долговечной, малошумной дроссельно-регулирующей арматуры, обладающей необходимыми динамическими характеристиками.

Практически все сферы промышленности сталкиваются с необходимостью перемещения жидкостей или газов по трубам и каналам. Протяженность и сложность сетей при этом могут быть различными. Для регулирования расхода рабочей среды используются разного рода устройства [1]. Одними из таких устройств являются регулируемые дроссельные шайбы, которые позволяют быстро и качественно провести наладку сети без герметизации всей системы.

В настоящее время существует большое количество разнообразных регулируемых дроссельных шайб [2–5]. Достоинства и недостатки типичных конструкций регулируемых дроссельных шайб состоят в следующем.

Известна регулируемая дроссельная шайба [2], содержащая привод и корпус, в котором установлен подвижный диск, снабженный сквозными отверстиями и фигурным пазом. Привод выполнен в виде штока, на котором эксцентрично его оси закреплен элемент в виде усеченной с двух сторон сферы, входящей в фигурный паз диска. Регулирование площади проходных отверстий производится путем вращения штока, при этом элемент, в виде усеченной с двух сторон сферы, поворачивает подвижный диск со сквозными отверстиями. При эксплуатации такой шайбы [2] возникает вероятность заклинивания подвижного диска с отверстиями в процессе регулирования. Это делает дроссельную шайбу [2] ненадежной в эксплуатации, а использование большого количества конструктив-