

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА

Кордит Е.А.¹, Якубович Е.А.²

¹ООО «АДВЕРС», Самара, Россия;

²Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Ключевые слова: топливо, процессы горения, горелочное устройство, топочная камера, испарение, капиллярная структура, сажистые выделения, предпусковой подогреватель, воздушный отопитель.

Аннотация. В статье анализируется проблема повышения эффективности и надежности работы горелочных устройств испарительного типа применительно к использованию в предпусковых автомобильных подогревателях и воздушных отопителях. Показана зависимость процесса горения от характера заполнения жидким топливом объема испарительной капиллярной структуры. Сформулированы условия отсутствия закипания топлива и выделения сажистых отложений. Дано описание конструкции испарительного капиллярного элемента в составе горелочного устройства, обеспечивающего равномерную локализацию жидкого топлива внутри капиллярной структуры.

INCREASING THE EFFICIENCY OF EVAPORATION-TYPE BURNERS

Kordit E.A.¹, Yakubovich E.A.²

¹LLC «ADVERS», Samara, Russia;

²Samara state technical university, Samara, Russia

Keywords: fuel, combustion processes, burner device, combustion chamber, evaporation, capillary structure, soot emissions, pre-heater, air heater.

Abstract. The article analyzes the problem of increasing the efficiency and reliability of evaporative-type burner devices in relation to use in pre-start automotive heaters and air heaters. The combustion process is shown to depend on the nature of filling the volume of the evaporative capillary structure with liquid fuel. The conditions for the absence of boiling of fuel and the release of soot deposits are formulated. The design of an evaporative capillary element in the composition of a burner device providing uniform localization of liquid fuel inside the capillary structure is described.

Большое разнообразие горелочных устройств относится к наиболее ответственным элементам технологических комплексов, обеспечивающих работу ключевых отраслей промышленности [1]. В этих условиях актуальной задачей является поиск и реализация предельных качественных показателей, эффективных режимов работы и конструкций горелочных устройств с учетом результатов исследований и анализа базовых положений теории горения и тепло- и массопереноса, лежащих в основе их функционирования. В главных своих аспектах указанная задача может быть решена на базе современной теории горения топлива, оценки влияния конструкции горелочного устройства на характеристики камер сгорания, исследования горения различных топлив в камерах сгорания, рассмотрения процессов испарения и конденсации. На этой основе выполнен ряд фундаментальных исследований

процессов горения в топочных устройствах, испарительно-конденсационных установках и камерах сгорания газотурбинных двигателей [2-5].

При этом проблема повышения эффективности и надежности испарительных горелочных устройств требует специального рассмотрения в силу особенностей протекающих в них процессов смесеобразования топлива с окислителем, процессов испарения и образования горючей смеси [6, 7], а также условий практического применения горелочных устройств подобного типа.

Горелочные устройства, в которых горючая смесь формируется непосредственно из паров топлива путем испарения его с большой разветвленной поверхности капиллярной структуры, созданной из негорючих материалов, в частности из особым образом спрессованных волокон нержавеющей стали, обладают целым рядом значимых эксплуатационных преимуществ перед горелочными устройствами, в которых горючая смесь формируется путем распыления жидкого топлива. Они потребляют существенно меньше энергии, что имеет большое значение, например, для предпусковых автомобильных подогревателей и воздушных отопителей, питающихся от аккумулятора. Такие устройства обеспечивают более высокую степень сгорания и более экологичны.

Вместе с тем для них характерна высокая чувствительность к чистоте топлива, что обусловлено пористой структурой испарительного элемента, благодаря которой он легко впитывает грязь, парафины, примеси.

Основным условием эффективной и надежной работы горелочных устройств испарительного типа является полное испарение поступившего топлива в капиллярной структуре испарительного элемента. Если же количество топлива, поступающего в топочную камеру в единицу времени, больше, чем количество, превращенное в паровую фазу, то неиспарившаяся часть топлива закипает, в результате чего на стенках топочной камеры образуются сажистые выделения, снижающие общую теплопроизводительность отопителя с данным горелочным устройством.

Обычно топливо подается в одну или несколько верхних точек капиллярной структуры испарительного элемента и далее, под действием силы тяжести и капиллярных сил растекается по капиллярной структуре. Капиллярная структура способна удерживать в своих пределах определенной количество топлива, определяемого для спрессованных металлических волокон диаметром проволоки, размером пор, величиной смачиваемости и т.д. Соответственно при поступлении излишнего количества топлива часть его стекает к нижней точке топочной камеры, образуя «лужу», которая при разогреве камеры начинает кипеть, вызывая отмеченные вредные последствия.

Горелочные устройства испарительного типа, как правило, имеют небольшие размеры, что предопределяет их применение в нагревателях, для которых габариты имеют важное значение по условиям установки и монтажа, например, в автомобильных предпусковых подогревателях и отопителях

замкнутых помещений. Для подобных устройств важным требованием является независимость процесса горения от расположения испарительной капиллярной структуры относительно точки ввода жидкого топлива. Обоснованный выбор конструкторско-технологических решений по проектированию и производству отвечающих этим требованиям нагревателей должен опираться на априори установленные закономерности распределения жидкого топлива в структуре, транспортирующей паровую фазу топлива в зону смешения с окислителем.

Сообразно в известных устройствах реализуется один из трех вариантов распределения жидкого топлива по объему испарительной капиллярной структуры (рис. 1).

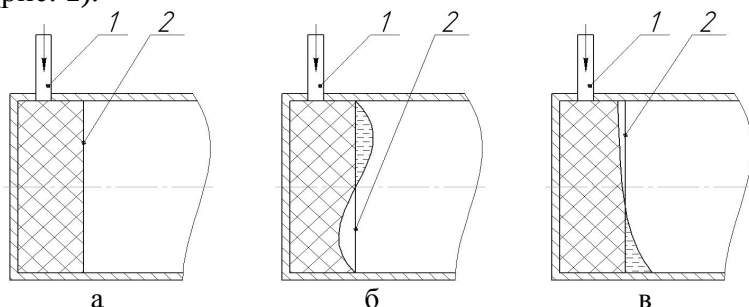


Рис. 1 Варианты распределения жидкого топлива по объему испарительной капиллярной структуры: 1 – патрубок ввода топлива, 2 – испарительный элемент;

 – объемная фаза жидкого топлива,
  – жидкое топливо вне испарительного элемента

При распределении, соответствующем рисунку 1а, масса жидкого топлива включает жидкую фазу, полностью заполняющую испарительную капиллярную структуру и поверхностную фазу в виде тонкой пленки, покрывающей поверхность элементов капиллярной структуры. Благодаря большой площади поверхности капиллярной структуры и соответственно площади жидкой пленки формируется интенсивный поток пара, причем выделяющаяся при этом теплота обеспечивает температуру жидкого топлива в пределах ниже температуры кипения. Это обстоятельство имеет принципиальное значение, т.к. при кипении происходит разбрызгивание жидкой фазы, в результате чего происходит нагарообразование, образуются сажистые отложения, а на самой капиллярной структуре в результате кипения выделяются смолистые вещества, приводящие к ее постепенному закоксуыванию и снижению эффективности работы горелочного устройства.

В случае, если часть объемной фазы жидкого топлива выступает за пределы испарительной структуры (рис. 1, б, в), то испарение не может компенсировать нагрев объемной фазы, в результате вступают в действие отмеченные выше нежелательные процессы, сопровождающие кипение жидкого топлива в топочной камере горелок испарительного типа.

Из приведенного анализа следует, что для обеспечения эффективной и устойчивой работы горелочных устройств испарительного типа необходимо обеспечить локализацию жидкого топлива внутри испарительной структуры вне зависимости от положения устройства в месте установки.

На рисунке 2 представлен эскиз топочной камеры, реализующий один из вариантов решения этой задачи [8].

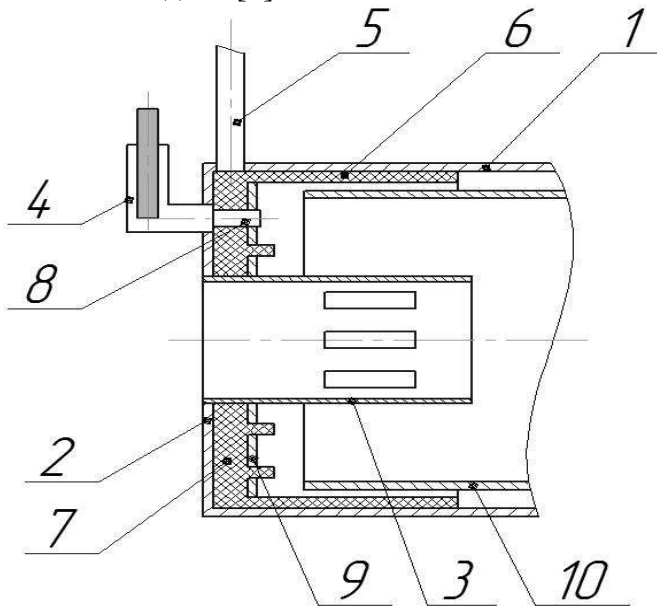


Рис.2. Эскиз топочной камеры с горелочным устройством испарительного типа:

- 1 – цилиндрическая стенка топочной камеры, 2 – торцевая стенка топочной камеры,
- 3 – сопло подачи воздуха, 4 – штуцер свечи накаливания, 5 – патрубок ввода топлива,
- 6 – цилиндрическая часть испарительной капиллярной структуры, 7 – торцевая часть испарительной капиллярной структуры с перпендикулярными выступами,
- 8 – соосное отверстие, 9 – кольцевой элемент, 10 – формирователь вихревых потоков

В предлагаемой конструкции испарительная капиллярная структура состоит из цилиндрической 5 и плоской 7 частей, размещенных соответственно на внутренней 6 цилиндрической и торцевой 2 поверхностях топочной камеры. Плоская торцевая часть 7 экранирована от рабочего объема топочной камеры кольцевым элементом 9 и непосредственного участия в формировании паров топлива не принимает. Функция этой части капиллярной структуры состоит в доставке жидкого топлива от патрубка подачи топлива 5 к перпендикулярным выступам на торцевой части 7, которые ориентированы вдоль воздушных струй, формируемых рядом отверстий в сопле подачи воздуха 3 и ограничиваемых формирователем вихревых потоков 10. Вследствие высокой температуры в топочной камере и интенсивного обдува воздушными струями обеспечивается высокая интенсивность объемно-капиллярного испарения, в том числе от цилиндрической части 6 капиллярной испарительной структуры. При полном заполнении всех элементов капиллярной структуры жидкое топливо равномерно распределено по всему

объему и не зависит от положения испарительного элемента в пространстве. Избыточное количество топлива перетекает в цилиндрическую часть 6 капиллярной структуры, растекается по ее поверхности и, испаряясь, поступает в зону горения.

Установленные закономерности и результаты позволяют на содержательном уровне интерпретировать условия горения и надежной работы горелочных устройств испарительного типа и могут учитываться при проектировании и производстве эффективных автономных подогревателей и воздушных отопителей с высокой мощностью тепловыделения.

Список литературы

1. Винтовкин А.А., Ладыгичев М.Г., Гусовский В.Л., Усачев А.Б. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики). – М.: Теплотехник, 2008. – 496 с.
2. Сполдинг Д.В. Горение и массообмен. – М.: Машиностроение, 1985. – 237 с.
3. Пашков Л.Т. Основы теории горения. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 136 с.
4. Хирш Д., Паунд Г. Испарение и конденсация. – М.: Metallurgy, 1966. – 196 с.
5. Стайич О., Мингазов Б.Г. Исследование горения различных топлив в камерах сгорания газотурбинных двигателей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 71. – С. 33-42.
6. Кулаков А.Г. Интенсификация тепло-и массообмена в испарительно-конденсационных устройствах // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2005. – №2. – С.74-81.
7. Шокриладзе И.Г., Русишвили Д.Г. Экспериментальное исследование теплоотдачи в процессах испарения и конденсации на капиллярных поверхностях // Инженерно-физический журнал. – 1980. – №5. – С. 393-399.
8. Патент № 2213298 РФ. Горелочное устройство / Е.А. Кордит. – Заявка №2002126957 от 10.10.2002; опубл.27.09.2003, Бюл. 27.

References

1. Vintovkin A.A., Ladygichev M.G., Gusovsky V.L., Usachev A.B. Modern burner devices (designs and specifications). – M.: Teplotekhnika, 2008. – 496 p.
2. Spalding D.V. Combustion and mass transfer. – M.: Mechanical Engineering, 1985. – 237 p.
3. Pashkov L.T. Fundamentals of combustion theory. – M.: MPEI Publ. house, 2002. – 136 p.
4. Hirsch D., Pound G. Evaporation and condensation. – M.: Metallurgy, 1966. – 196 p.
5. Stayich O., Mingazov B.G. Study of combustion of various fuels in combustion chambers of gas turbine engines // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Aerospace engineering. 2022, no. 71, pp. 33-42.
6. Kulakov A.G. Intensification of heat and mass transfer in evaporation-condensation devices // Power engineering. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. 2005, no. 2, pp. 74-81.
7. Shokriladze I.G., Rusishvili D.G. Experimental study of heat transfer in the processes of evaporation and condensation on capillary surfaces // Engineering and Physics Journal. 1980, no. 5, pp. 393-399.

8. Patent No. 2213298 RU. Burner device / E.A. Cordit. – Appl. No. 2002126957 from 10.10.2002; publ. 27.09.2003, Bul. No. 27.

Кордит Евсей Аврумович – кандидат технических наук, генеральный директор	Kordit Evsey Avrumovich – candidate of technical science, general director
Якубович Ефим Абрамович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» eyakubovich@mail.ru	Yakubovich Efim Abramovich – candidate of technical science, professor of department «Metal science, powder metallurgy, nanomaterials»

Received 30.07.2025