

Изобретение относится к теплотехнике, в частности к горелочной технике, и может быть использовано в качестве форсунки для сжигания жидких топлив и горелки для сжигания газового топлива в топках водогрейных и паровых котлов, промышленных печей различного назначения, применяемых в коммунальном хозяйстве, теплоэнергетической, электроэнергетической и других отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Известна форсунка внутреннего смешения, содержащая корпус с конфузorno-цилиндрическим выходным соплом, образующий камеру смешения и закручивания потоков окислителя (воздуха) и топлива, снабженную одним кольцевым рядом наклонных входных каналов для подачи в камеру топлива и двумя кольцевыми рядами наклонных входных каналов для подачи в камеру окислителя (Авт. св. СССР №805006, кл. F23D11/10, 1977).

Недостатками форсунки является грубое неоднородное распыливание топлива и низкое качество смесеобразования топлива с окислителем из-за недостаточной кинетической энергии струй воздуха, что обуславливает низкую эффективность сжигания топлива и большое количество экологически вредных веществ в продуктах сгорания топлива.

Известна также форсунка, содержащая корпус, в котором выполнена камера смешения, подключенная посредством наклонных отверстий, выполненных в виде кольцевого ряда, к кольцевому каналу для подачи воздуха и подключенная посредством радиальных отверстий к центральной топливной трубе. Внутренняя боковая поверхность камеры смешения снабжена завихрителем в виде винтовой нарезки (Авт. св. СССР №1774127, кл. F23D11/10, 1990).

Недостатками форсунки также являются грубое неоднородное распыливание топлива и низкое качество смесеобразования топлива с воздухом в результате недостаточного возмущающего действия воздуха на потоки топлива, на весь объем воздухотопливной смеси и недостаточной кинетической энергии струй воздуха, что обуславливает неполное сгорание топлива, его повышенный расход и большое количество экологически вредных веществ в продуктах сгорания топлива.

Известна также пневматическая форсунка, содержащая корпус и размещенную в нем вставку с винтовыми канавками на наружной поверхности, образующую с корпусом кольцевой зазор, выполняющий функции воздушного коллектора. Вставка выполнена с центральным отверстием, имеющим конфузorno-наклонный участок на входе, пережим и диффузorno-наклонный участок на выходе. В теле вставки выполнены тангенциальные каналы, сообщающие кольцевой зазор с диффузorno-наклонным участком центрального отверстия. Центральное отверстие на входе соединено с патрубком, подключенным к источнику жидкого топлива. Кольцевой зазор подключен к источнику распылителя (воздуха) посредством патрубка, установленного в стенке корпуса. Корпус выполнен с конической торцевой стенкой, в которой образовано конфузorno-цилиндрическое выходное сопло корпуса. Между вставкой и конической торцевой стенкой выполнен кольцевой зазор, сообщающийся с воздушным коллектором и выполняющий функцию второй ступени смесителя (Авт. св. СССР №1043419, кл.

F23D11/12, 1981).

Недостатками конструкции форсунки являются малая степень тонкости распыливания топлива и низкое качество смесеобразования топлива с воздухом, связанное с недостаточным возмущающим, диспергирующим и диффундирующим действием воздуха на поток топлива и недостаточной кинетической энергией струй воздуха, что приводит к неполному сгоранию топлива, его неэкономному расходу и большому количеству экологически вредных веществ в продуктах сгорания топлива.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в повышении экономичности сжигания жидкого или газового топлива в котлах и промышленных печах различного назначения, повышении экологической чистоты продуктов сгорания топлива.

Основной технический результат, получаемый при осуществлении изобретения, состоит в значительном улучшении полноты и однородности смесеобразования топлива, с воздухом, в повышении тонкости распыла топлива и воздухотопливной смеси и полном турбулентном сгорании топлива.

Технический результат изобретения основан на глубокой искусственной турбулизации потоков топлива и воздуха, их полном турбулентном перемешивании в условиях высокой кинетической энергии струй воздуха и значительного ускорения турбулентного диффундирования воздуха и топлива, глубокой турбулизации внутри форсунки (горелки) всего объема воздухотопливной смеси с образованием в ней активно взаимодействующих микровихрей топлива и воздуха, создающих на выходе форсунки тонко и однородно диспергированную с равномерной плотностью турбулизированную туманообразную воздухотопливную структуру факела распыла, обеспечивающую полное турбулентное сгорание топлива и значительное снижение экологически вредных веществ в продуктах сгорания топлива.

Получаемый технический результат достигается наличием следующих существенных отличительных признаков изобретения:

1) многоступенчатого (не менее двух ступеней) смесителя топлива и воздуха, имеющего в каждой ступени кольцевые ряды наклонных и радиально-наклонных каналов, соединяющих камеру смесителя с полостью воздушного коллектора, турбулизирующего кольцевого выступа на внутренней поверхности камер смешения второй и последующих ступеней смесителя, расположенного между кольцевыми рядами наклонных и радиально-наклонных каналов для глубокой турбулизации процесса смешения потока топлива с воздухом, ускорения их диффундирования, образования и турбулизации тонко диспергированной воздухотопливной смеси;

2) бугорков шероховатости высотой 1 - 2 мм на внутренней поверхности входных патрубков топлива и воздуха для предварительной турбулизации этих потоков;

3) конфузоров входов в наклонные и радиально-наклонные каналы смесителя с углами сужения 150 - 170° турбулизирующих и ускоряющих воздушные потоки;

4) радиально-наклонных каналов, имеющих форму угловых сверхзвуковых сопел Лаваля со спиральными турбулизирующими выступами

высотой 0,7 - 1мм в их радиальной части для турбулизации, ускорения до сверхзвуковой скорости и повышения кинетической энергии потоков воздуха;

5) кольцевого ряда наклонных каналов конфузорной формы с углом сужения 12 - 20° в первой ступени смесителя для повышения кинетической энергии потоков воздуха и усиления степени их турбулизирующего воздействия на поток топлива при его выходе в многоступенчатый смеситель.

В частном случае, при использовании легких жидких топлив или газового топлива дополнительным признаком изобретения является выходной кольцевой турбулизирующий зубчатый выступ с щелевыми соплами в выходной сопловой головке для турбулизации воздухотопливной смеси, дополнительного подогрева факела распыла и превращения воздухотопливной смеси жидкого топлива с воздухом в газозвоздушную смесь в результате ее нагрева горячими зубьями кольцевого выступа.

Техническая сущность и принцип действия предложенной турбулизационной горелки поясняются чертежами, где на фиг.1 показан продольный разрез турбулизационной горелки; на фиг.2 - сечение А - А наклонных конфузорных каналов первой ступени смесителя на фиг.1; на фиг.3 - сечение Б - Б радиально-наклонных каналов первой, второй и третьей ступеней смесителя на фиг.1; на фиг.4 - сечение В - В наклонных каналов второй и третьей ступеней смесителя на фиг.1; на фиг.5 - продольный разрез выходной сопловой головки.

Турбулизационная горелка состоит из корпуса 1, в котором осесимметрично расположен многоступенчатый смеситель топлива и воздуха, в данном случае трехступенчатый смеситель 2, 3, 4 с соответствующими камерами смешения 5, 6, 7 потоков воздуха с топливом в каждой ступени. Внутренняя поверхность корпуса 1 и наружные поверхности трех ступеней смесителя 2, 3, 4 образуют кольцевую коллекторную полость 8, выполняющую функцию воздушного коллектора.

Камера смешения первой ступени смесителя 5 патрубком подачи топлива 9 подключена к источнику жидкого или газового топлива, а воздушный коллектор 8 подключен к источнику воздуха посредством патрубка подачи воздуха 10, установленного в стенке корпуса 1. На внутренней поверхности патрубков 9 и 10 выполнены хаотично расположенные бугорки шероховатости 11 высотой 1 - 2мм для предварительной турбулизации пограничного слоя потоков топлива и воздуха, что обеспечивает ускорение процесса более глубокой турбулизации этих потоков в последующих частях горелки (Субботин В.И. и др. Особенности гидродинамики труб с регулярной искусственной шероховатостью стенок // Турбулентные течения. - М.: Наука, 1977; Билтджес П. Дж. Эффекты запоминания в турбулентных потоках: Тез. докторской диссертации. - Пер. с англ. ВЦП - №А-89016, 1979. - С.3, 7, 8).

В корпусах всех ступеней смесителя 2, 3, 4 выполнены кольцевые ряды наклонных 12 и радиально-наклонных каналов 13, сообщающих камеры смешения 5, 6, 7 с кольцевой полостью воздушного коллектора 8. Входные части всех этих каналов выполнены в виде конфузоров 14 с

углами сужения  $\theta = 150 - 170^\circ$ , что обеспечивает образование в потоках воздуха существенных неоднородностей в виде скачков уплотнения и увеличивает степень турбулентности этих потоков (Бонни Э.И. и др. Аэродинамика. Реактивные двигатели. Практика конструирования и расчета. - Пер. с англ. - М.: Физматгиз, 1960. - С.257). В радиальной части каналов 13 выполнены спиральные выступы 15 высотой 0,7 - 1мм для турбулизации и закручивания потоков воздуха, проходящих через эти каналы. Радиально-наклонные каналы 13 выполнены в виде угловых сверхзвуковых сопел Лавала, ускоряющих проходящий через них поток воздуха до сверхзвуковой скорости и образующих в потоках существенные неоднородности в виде скачков уплотнения, что обеспечивает значительную концентрацию кинетической энергии этих потоков воздуха (Мелькумов Т.М. и др. Ракетные двигатели. - М.: Машиностроение, 1968. - С.146; Алемасов В.Е. и др. Теория ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1969. - С.370, 371). Наличие наклонных 12 и радиально-наклонных каналов 13 по всей длине многоступенчатого смесителя для инъекции воздуха в камеры смешения 5, 6, 7 обеспечивает глубокое и полное турбулентное перемешивание воздуха с топливом и образование мелкодисперсной турбулизированной воздухотопливной смеси (Эдварде А.С. и др. Турбулентное перемешивание при инъекции в поток поперечных ему струй. - Пер. с англ. ВЦП - N M-23972, 1986; Турбулентная диффузия. Химический энциклопедический словарь. - М.: Сов. энциклопедия, 1983. - С.601).

Камера смешения 5 первой ступени смесителя выполнена диффузорной формы для увеличения интенсивности турбулизации всего объема потока топлива и образования кольцевой вакуумной зоны между ее внутренней поверхностью на выходе диффузора и потоком топлива вследствие отрыва турбулизированного потока топлива от внутренней стенки диффузора (Диффузор - Большая советская энциклопедия. - 2 - е изд. Т.14. - М., 1952. - С.547).

Кольцевой ряд наклонных каналов 12 первой ступени смесителя 2 выполнен конфузорной формы с углом сужения  $\theta_1 = 12 - 20^\circ$  для повышения кинетической энергии потоков воздуха и усиления степени их турбулизирующего воздействия на поток топлива, входящего в смеситель.

На внутренних поверхностях камер смешения второй 6 и последующих ступеней смесителя 7 между выходами кольцевого ряда наклонных 12 и радиально-наклонных каналов 13 выполнены кольцевые турбулизирующие выступы 16 для глубокой турбулизации всего объема потока топлива, воздухотопливной смеси с образованием микромасштабных вихрей топлива и воздуха размером порядка  $10^{-4}$ мм и образования кольцевых вакуумных зон в районах выхода камеры смешения срезов угловых сопел Лавала 13, (Турбулентность. Принципы и применение / Под ред. У.Фроста, Т.Моулдена: Пер. с англ. - М.: Мир, 1980. - С.17).

К выходу последней, в данном случае третьей ступени камеры смешения 7, подсоединен выходной диффузор 17, угол расширения которого определяет необходимую величину корневого угла факела распыла воздухотопливной смеси.

В частном случае, при использовании легких жидких топлив (соляра, печное топливо) или

газового топлива к выходу камеры смешения последней ступени смесителя 7 вместо выходного диффузора 17 подсоединяется сопловая головка 18 с кольцевым турбулизирующим зубчатым выступом 19 и щелевыми соплами 20, образованными зубьями 21 для турбулизации воздуhotoпливной смеси, дополнительного подогрева факела распыла и превращения воздуhotoпливной смеси жидкого топлива с воздухом в газозвдушную смесь в результате нагрева смеси горячими зубьями 21 кольцевого зубчатого выступа 19.

Турбулизационная горелка работает следующим образом.

Жидкое или газовое топливо и воздух подаются через соответствующие входные патрубки 9 и 10, где пограничные слои этих потоков предварительно турбулизируются бугорками шероховатостей 11, что обеспечивает ускорение процесса более глубокой турбулизации всего объема потоков воздуха и топлива в последующих частях горелки.

Поток предварительно турбулизированного топлива, войдя в диффузорную камеру первой ступени смешения 5 и взаимодействуя с турбулентным потоком воздуха из наклонных каналов 12, глубоко турбулизируется во всем объеме с отрывом пограничного слоя от внутренней стенки диффузора, что обеспечивает возникновение в районе выходных сечений угловых сопел Лавалю 13 кольцевой вакуумной зоны.

Поток предварительно турбулизированного воздуха из кольцевой камеры воздушного коллектора 8 проходит через наклонные 12 и радиально-наклонные каналы 13 в камеру смешения первой ступени смесителя 5, взаимодействуя при этом с входными конфузорами 14 каналов 12, 13, углы сужения в которых обеспечивают возникновение в потоках воздуха неоднородностей и увеличение степени их турбулизации, дополнительно турбулизируется спиральными выступами 15 угловых сопел Лавалю 13, приобретает существенную неоднородность в виде скачков уплотнения, ускоряется до сверхзвуковой скорости в расширяющихся наклонных частях сопел Лавалю в результате наличия вакуумной зоны в районе выходных срезов этих сопел и, приобретая повышенную кинетическую энергию, турбулентность и неоднородность, активно воздействуют на турбулизированный поток топлива, образуя первичную турбулизированную воздуhotoпливную смесь.

Из диффузорной камеры смешения первой ступени смесителя 5 первичная турбулизированная воздуhotoпливная смесь поступает последовательно в камеры смешения второй 6, третьей 7 (и последующих при их наличии), ступеней смесителя, где последовательно взаимодействует в каждой ступени смесителя с турбулизированными неоднородными струями воздуха наклонных каналов 12, кольцевым турбулизирующим выступом 16, сверхзвуковыми струями сопел Лавалю 13, образованными в результате возникновения кольцевой вакуумной зоны за задней гранью кольцевого выступа 16. При этом воздуhotoпливная смесь дополнительно перемешивается с воздухом, турбулизируется с

образованием во всем объеме микромасштабных вихрей топлива и воздуха в результате чего значительно углубляются и ускоряются процессы диффузии воздуха в топливо, диспергирования топлива, что обеспечивает их полное перемешивание и образование единого турбулизированного мелкодисперсного воздуhotoпливного потока туманообразной структуры.

Пройдя из камеры смешения последней ступени смесителя 7 через выходной диффузор 17, обеспечивающий необходимую величину корневого угла факела распыла, туманообразный турбулизированный с микромасштабной вихревой структурой воздуhotoпливный поток поступает в камеру сгорания котла (печи), где происходит полное турбулентное сгорание топлива с образованием минимального количества экологически вредных веществ в продуктах сгорания топлива.

В частном случае, при использовании на выходе камеры смешения последней ступени смесителя 7 вместо диффузора 17, выходной сопловой головки 18, турбулизированный воздуhotoпливный поток жидкого топлива, проходя через щелевые сопла 20 кольцевого зубчатого турбулизатора 19, дополнительно турбулизируется и подогревается горячими зубьями кольцевого зубчатого выступа 21, превращаясь в газозвдушный поток и при этом жидкостная горелка работает как горелка газовая, обеспечивая полное турбулентное сгорание топлива в топке котла (печи) с минимальным количеством экологически вредных продуктов сгорания.

Возможность осуществления данного изобретения дополнительно подтверждается тем, что авторами в полном соответствии с вышеописанной конструкцией и формулой изобретения был разработан экспериментальный образец турбулизационной горелки, который прошел экспериментальные испытания на котле КС1М и показал, что турбулизационная горелка обеспечивает образование воздуhotoпливной смеси туманообразной структуры, полное турбулентное сгорание топлива, более экономичную работу котла с экономией топлива не менее 20% и значительное снижение экологически вредных веществ в продуктах сгорания топлива (полное отсутствие углекислого газа и сажи, уменьшение примерно в 6 раз концентрации окислов азота) (Протокол испытаний экспериментального образца турбулизационной горелки ТГ-МД-3, от 20.12.94, г.Феодосия; Кузнецов В.Р., Сабельников В.А. Турбулентность и горение. - М.: Наука, 1986. - С.180).

