



ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕМІСІЮ БЕНЗ(А)ПИРЕНУ В ПРОДУКТАХ ЗГОРЯННЯ ЖАРОГАЗОТРУБНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ

О.В. Лук'янов

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

e-mail: AV_Lykianov232@mail.ru

Отримана 23 вересня 2008; прийнята 26 вересня 2008.

Анотація. У статті триває висвітлення наукових досліджень, представлених у попередньому номері, з визначення впливу основних технологічних параметрів спалювання палива в жарогазотрубних теплогенераторах малої потужності на вихід токсичних речовин. У даній статті представлені результати досліджень з емісії бенз(а)пирену в продукти згоряння жарогазотрубних теплогенераторів. Для теплогенераторів малої потужності немає даних щодо викидів, а відсутність контролю в даному питанні може значно загострити й без того небезпечну екологічну обстановку, що виникла в Україні в наш час. Одним зі способів вирішення цих проблем є комплексна оптимізація процесів спалювання палива в теплогенераторах малої потужності. Установлено механізми та умови емісії бенз(а)пирена при спалюванні в топкових камерах малого обсягу природного газу. Отримано узагальнюючі рівняння залежності змісту бенз(а)пирена в продуктах згоряння від факторів, що впливають.

Ключові слова: коефіцієнт надлишку повітря, бенз(а)пирен, викиди, жарогазотрубіні теплогенератори, теплова потужність, завихорувач.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭМИССИЮ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ЖАРОГАЗОТРУБНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

А. В. Лукьянов

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: AV_Lykianov232@mail.ru

Получена 23 сентября 2008; принята 26 сентября 2008.

Аннотация. В статье продолжается освещение научных исследований, представленных в предыдущем номере, по определению влияния основных технологических параметров сжигания топлива в жарогазотрубных теплогенераторах малой мощности на выход токсичных веществ. В данной статье представлены результаты исследований по эмиссии бенз(а)пирена в продукты сгорания жарогазотрубных теплогенераторов. Для котлов малой мощности нет данных относительно выбросов, а отсутствие контроля в данном вопросе может значительно заострить и без того опасную экологическую обстановку, сложившуюся в Украине в настоящее время. Одним из способов решения этих проблем есть комплексная оптимизация процессов сжигания топлива в теплогенераторах малой мощности. Установлены механизмы и условия эмиссии бенз(а)пирена при сжигании в топочных камерах малого объема природного газа. Получены обобщающие уравнения зависимости содержания бенз(а)пирена в продуктах сгорания от влияющих факторов.

Ключевые слова: коэффициент избытка воздуха, бенз(а)пирен, выбросы, жарогазотрубные теплогенераторы, тепловая мощность, завихритель.

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON ENFLUENSE THE EMISSION PETROLPIRENE IN THE COMBUSTION PRODUCTS IN THE HOTGAS TUBE THERMO-GENERATORS

A.V. Luk'janov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Derzhavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.

E-mail: AV_Lykianov232@mail.ru

Received 23 September 2008; accepted 24 September 2008.

Abstract. The representation of the scientific researches given in the previous issue proceeds in the article, to determine the influence of the basic technological parameters of fuel in the combustion hotgastube thermogenerators of small power for the output of toxic substances. In this article there are the of research results on the petrolpirene emission into the combustion products of the hotgastube thermogenerators. For the caldrons of small power there are no data as for the effluent, and the control absence can considerably deteriorate the dangerous ecological situation in Ukraine nowadays. One of ways of these problems solution is the complex processes optimization of the fuel incineration in the thermogenerator with small power. There where determined mechanisms and emission conditions of petrolpirene while incinerating the natural gas in the fire-box chambers of small volume. The generalizing equations of the contents dependence of petrolpirene of the combustion products from the influencing factors.

Keywords: coefficient of surplus of air, petrolpirene, overflow, caldrons, thermal power.

Формулировка проблемы

Бенз(а)пирен $C_{20}H_{12}$, представляющий собой желтые иглообразные кристаллы, является действующим началом многих канцерогенных смол, сажи и продуктов неполного сгорания газа, мазута и угля. Проблема наличия бенз(а)-пирена в окружающей среде является достаточно острой для всех регионов, что связано с его повсеместным распространением [1-3]. Основные источники образования бенз(а)пирена связаны с технологическими процессами сжигания органического топлива, причем более половины эмиссии бенз(а)пирена приходится на производство теплоты коммунальными котельными. Отсутствие в официальных методиках нормативных выбросов бенз(а)пирена объясняется трудностью его измерений и ненадежностью методик расчетов.

Анализ последних исследований и публикаций

Несмотря на многообразие полициклических ароматических углеводородов, которые образуются при горении природного газа, присутствие их в продуктах сгорания и воздухе оце-

нивается по наличию бенз(а)пирена как наиболее опасного ингредиента.

Из анализа механизма образования бенз(а)-пирена [4, 5] выходит, что факторами, которые влияют на величину концентрации этого компонента в продуктах сгорания являются уровень температуры, содержание кислорода и время пребывания начальных компонентов в зоне горения. С ростом концентрации кислорода, повышением температуры и увеличением времени пребывания начальных компонентов реакции в зоне горения содержание бенз(а)пирена снижается, а с уменьшением - наблюдается противоположный эффект [6, 7].

Авторы [8] утверждают, что образование бенз(а)пирена при горении метана происходит через уплотнение ацетилена по радикально-цепному механизму. Это приводит к образованию триацетилена, который взаимодействует с ацетиленом и радикалом C_2H с образованием бенз(а)пирена. По [9] образование бенз(а)-пирена происходит из ацетилена как процесс удлинения цепи с синтезом бутадиена, и в последующем - стирола.

Позднее, на основе термодинамического анализа условий образования отдельных ком-

понентов продуктов горения природного газа, включая компоненты, участвующие в синтезе бенз(а)пирена по предыдущим механизмам, в работах САФ ВНИИГАЗПРОМА [10] предложена еще одна гипотетическая схема образования бенз(а)пирена, предполагающая, что на начальном участке факела с температурой до 1650 °K происходит пиролиз CH_4 с участием CH_2 , приводящий к выходу бутадиена (C_4H_6) и последующему образованию стирола (C_8H_8) и бенз(а)пирена.

В работах [10,11] приведен ряд данных по выходу бенз(а)пирена в зависимости от конструктивных и режимных параметров. Отмечается, что установка в горелках дополнительных турбулизаторов в виде плохобтекаемых тел приводит к уменьшению концентрации бенз(а)пирена почти в два раза. Наиболее доступным методом снижения выхода бенз(а)пирена является увеличение коэффициента избытка воздуха, но при этом степень смешения газа с воздухом зависит от конструкции горелок и топков.

Цель

Целью исследований является определения влияния основных технологических параметров сжигания топлива в теплогенераторах локальных систем теплоснабжения на эмиссию бенз(а)пирена в продукты сгорания жарогазотрубных теплогенераторов локальных систем теплоснабжения и разработка способов ее снижения.

Основной материал

Основными факторами, влияющими на эмиссию бенз(а)пирена в продуктах сгорания локальных теплогенераторов, как уже отмечалось, являются коэффициент избытка воздуха в топочной камере (b_T), степень неполноты смешения природного газа с воздухом в горелке (α), угол установки завихрителя (α), теплонапряженность объема топочной камеры (q_v).

На основании выбранных входных факторов и функции отклика составлена матрица и проведен эксперимент с целью получения достоверных данных об эмиссии бенз(а)пирена в продуктах сгорания.

В процессе эксперимента устанавливалась необходимая нагрузка и коэффициент избытка

воздуха, при постоянных значениях этих параметров осуществлялось изменение неполноты смешения газа с воздухом в горелке с одновременным определением состава газовой фазы и температуры газов с помощью газоанализатора «Ecoline Plus» и отбором проб отходящих газов на определение концентрации бенз(а)пирена.

Исследование выхода бенз(а)пирена с продуктами сгорания в зависимости от неполноты смешения газа с воздухом в горелке при различных значениях коэффициента избытка воздуха b_T производилось при теплонапряженности топочного объема $Q_v = 300 \text{ кВт/м}^3$. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1

Анализ расположения кривых экспериментальных исследований позволяет сделать вывод о том, что влияние неполноты смешения газа с воздухом на содержание бенз(а)пирена в дымовых газах имеет одинаковый характер при всех значениях коэффициента избытка воздуха. Изменение неполноты смешения газа с воздухом от $\alpha=0,8$ до 0 приводит к снижению выхода бенз(а)пирена в 3-5 раз. Уменьшение выхода бенз(а)пирена с продуктами сгорания при уменьшении коэффициента неполноты смешения объясняется сокращением локальных зон горения с недостатком кислорода, где происходит пиролиз топлива и, как следствие образование продуктов неполного горения. Снижение эмиссии бенз(а)пирена (рис. 1) происходит за счет улучшения смешения природного газа и воздуха, что позволяет интенсифицировать процесс горения и, как следствие этого, уменьшить в некоторой степени крекинг углеводородов, который присущ недостаточно подготовленной смеси.

Дальнейшее улучшение смешения от $\alpha = 0,2$ до $\alpha = 0$ несмотря на повышение интенсивности выгорания топлива и рост температуры не приводит к заметному уменьшению концентрации бенз(а)пирена в продуктах сгорания.

На рис. 2 приведено изменение концентрации бенз(а)пирена в продуктах сгорания в зависимости от неполноты смешения при различных значениях теплонапряженности объема топочного пространства теплогенератора и коэффициента избытка воздуха, равного 1,15.

Анализ результатов исследований показывает, что при уменьшении неполноты смешения

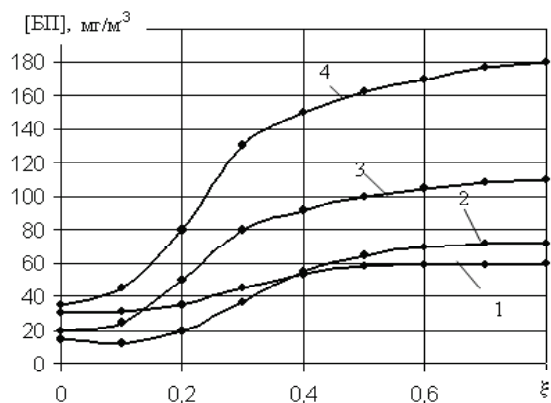


Рис. 1. Зависимость концентрации БП в продуктах сгорания от неплотности смешения газа с воздухом в горелке (ϕ) при различных коэффициентах избытка воздуха (b_T): 1- $b_T = 1,05$; 3- $b_T = 1,2$; 2- $b_T = 1,1$; 4- $b_T = 1,35$.

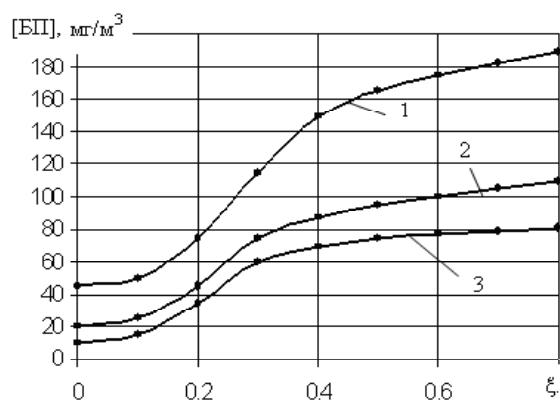


Рис. 2. Зависимость концентрации БП в продуктах сгорания от неплотности смешения газа с воздухом ϕ при различных значениях теплонапряжения объема топки (q_v): 1- $q_v = 150$ кВт/м³; 2- $q_v = 300$ кВт/м³; 3- $q_v = 450$ кВт/м³.

ниже 0,2 происходит резкий прирост концентрации бенз(а)пирена в продуктах сгорания. Это позволяет сделать вывод о том, что на практике при сжигании в топочных камерах локальных теплогенераторов целесообразно поддерживать качество смешения природного газа с воздухом на уровне $\phi = 0,2$. При полном смешении практически весь воздух поступает в зону горения. При $b_T = 1,05-1,15$ процесс горения интенсифицируется, а с $b_T > 1,15$ в результате снижения температуры происходит ухудшение процесса выгорания составляющей метанового ряда, а бенз(а)пирен как раз и является продуктом пиролиза метана.

Результаты исследований влияния угла установки завихрителя на концентрацию бенз(а)пи-

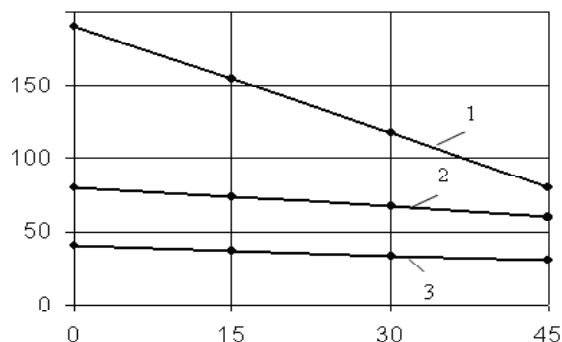


Рис. 3. Зависимость содержания БП в продуктах сгорания от угла ϕ установки лопаток аксиального завихрителя: 1- $\phi = 0,8$; 2- $\phi = 0,2$; 3- $\phi = 0,0$.

рена в продуктах сгорания при $b_T = 1,15$ и $q_v = 300$ кВт/м³ представлены в виде графика на рис.3.

Данные исследований показывают, что увеличение угла установки лопаток аксиального завихрителя приводит к снижению концентрации бенз(а)пирена. Причем при $\phi = 0,8$ снижение выхода бенз(а)пирена происходит очень интенсивно.

Это объясняется тем, что крутка, увеличивая турбулентность в факеле и число столкновений между молекулами топлива и окислителя, устраняет и начальную неравномерность распределения горючего в потоке воздуха. При увеличении ϕ на большую величину происходило сокращение эмиссии бенз(а)пирена при $\phi = 0,2$ по сравнению с $\phi = 0$.

С целью получения аналитической зависимости комплексного влияния основных технологических параметров на содержание бенз(а)пирена в продуктах сгорания определены, исходя из экспериментальных данных, зависимости каждого из факторов в отдельности при неплотности смешения $\phi = 0,2$ (табл. 1).

Полученные зависимости концентрации бенз(а)пирена в продуктах сгорания для отдельных технологических параметров использовались для вычисления концентрации бенз(а)пирена, зависимой от суммарной их совокупности. По результатам многофакторного эксперимента получена математическая модель влияния технологических параметров на выход бенз(а)пирена в виде:

$$[БП]_{\phi, \phi, q_v} = -1,4 - 8\phi + 1007(\alpha - 1,2)^2 + \frac{13528}{(q_v + 50)} \quad (4)$$

Таблица 1. Характеристика зависимости содержания бенз(а)пирена от технологических параметров топочного процесса.

| № | Технологический параметр топочного процесса | Характер зависимости | Формула зависимости |
|----|---|---------------------------------------|--|
| 1. | Угол установки лопаток аксиального завихрителя, φ | Близка к линейной функции | $[БП]_{\varphi} = 4,3 - \frac{8}{\pi} \varphi$, (1), где φ - величина угла в радианах ($0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{4}$). |
| 2. | Коэффициент избытка воздуха. α | Соответствует параболическому закону | $[БП]_{\alpha} = 1045,07 \cdot \alpha^2 - 2863,90 \cdot \alpha + 2008,17$, (2), где α изменяется в диапазоне $1,05 \leq \alpha \leq 1,35$. |
| 3. | Теплонапряженность объема топки, Q_V кВт/м ³ | Соответствует гиперболическому закону | $[БП]_{q_V} = 1,17 + \frac{3500}{3(q_V + 50)}$ (3), $150 \leq q_V \leq 450$ |

Вывод

Доказано, что в широком диапазоне варьирования мощности могут быть найдены технологические характеристики, при которых жарогазотрубные теплогенераторы локальных систем теплоснабжения будут работать с высокими теплотехническими и экологическими показателями. Полученное по результатам многофакторных экспериментов обобщенное уравнение зависимости содержания бенз(а)пирена в продуктах сгорания от влияющих факторов позволяет прогнозировать эти выбросы и определять оптимальные технологические параметры топочного процесса.

Литература

1. Nikolaou K., Masclet P., Mouvier G. Sources and chemical reactivity of polynuclear aromatic hydrocarbons in the atmosphere – a critical review // Sci. Tot. Environ. – 1984. - vol. 32, № 2. - P. 103–132.
2. Particulate polycyclic organic matter. Biologic effects of atmospheric pollutants. – NAS, Washington.: D.C, 1972. – 380 p.
3. Mutagenicity and chemical characteristics of carbonaceous particulate matter from vehicles on the road / W. R. Plerson, R. A. Gorse, A. C. Szkarlat et al. // Environ. Sci. Technol. - 1983. - vol. 17, No. 1. - P. 31–44.
4. Котляр В.Р., Васильев Б.Н., Кругляк Е.Д. Уменьшение выбросов оксидов азота за счет ступенчатого сжигания топлива в промышленных паровых котлах // Пром. энергетика. – 1996. - №1. – С. 38 – 42.
5. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 313 с.: ил., табл.- Библиогр. с. 300-311.
6. Ахмедов Р.Б., Цирульников Л.М. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – Л.: Недра, 1984. – 238 с.: ил., табл.
7. Гевлич И.Г., Губарь В.Ф., Губарь И.В. Влияние технологических параметров жаротрубных теплогенераторов на выбросы бенз(а)пирена с дымовыми газами // Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві: Зб. наук. праць. - Макіївка, 2003. - Вип. 2003. – 4(41). – С. 99-101.
8. Лавров В.Н., Стаскевич Н.Л., Комина Г.П. О механизме образования бенз(а)пирена // Доклады АН СССР. - 1972. – Т.206, № 6. – С. 1363-1366
9. Беджер Д. Химические основы канцерогенной активности. – М.: Медиздат, 1968. – 324 с.: ил., табл.
10. Соколова Я.И., Цирульников Л.М., Конюхов А.Г. Снижение образования полициклических ароматических углеводородов при сжигании природного газа // Природный газ и защита окружающей среды: Сб. науч. трудов – М.: ВНИИЭГАЗПРОМ, 1982. - Вып. 4. – С. 55-75.
11. Welchen Beitrag kann die Brenntechnik in den nächsten Jahren zur Verknappung der

Лук'янов Олександр Васильович - д.т.н., доцент, працює завідувачем кафедри “Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція” Донбаської національної академії будівництва архітектури. Наукові інтереси: енергозбережні технології в системах теплопостачання, теплогенератори локальних систем теплопостачання.

Лукьянов Александр Васильевич - д.т.н., доцент, работает заведующим кафедрой “Теплотехника, теплогазоснабжения и вентиляция” Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения, теплогенераторы локальных систем теплоснабжения.

Luk'yanov Alexander Vasil'evich - doctor of technical sciences, assistant professor, the head. of the chair “Thermotechniques, Thermogas Supply and Ventilation” of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the power savings technologies in heat supply, systems, thermogenerators of local systems.