

Научная статья
УДК 620.93

РЕКУПЕРАТИВНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ТРУБЫ В УСТАНОВКАХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРОЦЕССАМИ ПИРОЛИЗА И ГАЗИФИКАЦИИ

Анастасия Валерьевна Чибисова, Олег Иванович Горинов¹

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина,
Иваново, Россия

¹Gorinov.oleg2019@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены сведения о термической переработке твердых коммунальных отходов с целью их уничтожения и производства газообразного топлива энергетически эффективным методом, основанном на процессах пиролиза и газификации в установках, оснащенных радиационными трубами, а также методики их теплового расчета.

Ключевые слова: термическая переработка, термореактор, радиационная труба, рекуператор, тепловая энергия

Для цитирования: Чибисова А. В., Горинов О. И. Рекуперативные радиационные трубы в установках термической переработки твердых коммунальных отходов процессами пиролиза и газификации // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 629–635.

Original article

RECUPERATIVE RADIANT TUBES IN THERMAL INSTALLATIONS PROCESSING OF SOLID MUNICIPAL WASTE BY PYROLYSIS PROCESSES AND GASIFICATION

Anastasia V. Chibisova, Oleg I. Gorinov¹

Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin, Ivanovo, Russia

Gorinov.oleg2019@yandex.ru

Annotation: The paper provides information on the thermal processing of solid municipal waste for the purpose of their destruction and production of gaseous fuel energy efficient method based on the processes of pyrolysis and gasification in installations equipped with radiant tubes, as well as methods their thermal calculation.

Keywords: thermal processing, thermoreactor, radiant tube, recuperator, heat energy

For citation: Chibisova A. V., Gorinov O. I. (2023). Rekuperativnyye radiatsionnyye trubyy v ustanovkakh termicheskoy pererabotki tverdykh kommunal'nykh otkhodov protsessami piroliza i gazifikatsii [Recuperative radiant tubes in installations for thermal processing of municipal solid waste by pyrolysis and gasification processes]. *Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netradicionnyye i vozobnovlyaemye istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2023. P. 629–635. (In Russ).

Термическая переработка твердых коммунальных отходов (ТКО) с целью их уничтожения и производства горючего газа процессами пиролиза и газификации твердого углеродистого остатка может осуществляться в установках, получивших название термореактоы [1; 2]. Основными элементами термореакторов, которые обеспечивают подачу тепловой энергии на осуществление термических процессов, являются радиационные трубы [3, с. 261], расположенные или горизонтально вверху рабочей камеры, или вертикально вдоль поверхности шахты. Для этих целей нами предлагается рекуперативная радиационная труба направленного излучения (РРТНИ). РРТНИ направленно излучают тепловую энергию на поверхность термоперерабатываемого слоя, осуществляя при этом нагрев воздуха в надстроенном рекуператоре (рис. 1).

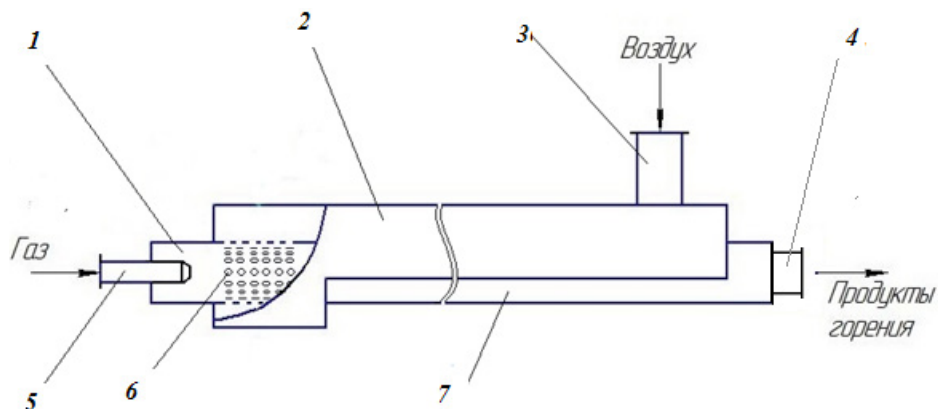


Рис. 1. Схема рекуперативной радиационной трубы направленного излучения [3]

Газ для горения поступает в радиационную трубу 1 через сопло 5, а продукты горения газа удаляются через патрубок 4. Рекуператор 2 в виде надстройки расположен в верхней половине радиационной трубы. Такая конструкция напоминает часть известного шелевого радиационного рекуператора. Воздух, поступающий в рекуператор через патрубок 3, нагревается и через отверстия 6 подается на горение газа в радиационную трубу. Верхняя часть конструкции радиационной трубы в процессе эксплуатации остается относительно «холодной» за счет рекуператора, обеспечивая ей конструктивную прочность и существенно уменьшая потери тепловой энергии. Это избавляет от необходимости устанавливать свод в термореакторах, следовательно, упрощает и удешевляет его конструкцию. Большая часть тепловой энергии, сгенерированной в радиационной трубе, через излучающую поверхность 7 направляется вниз на термообрабатываемую поверхность.

Отопление рекуперативными радиационными трубами направленного излучения термореакторов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами, а именно:

- установка рекуператора над верхней половиной радиационной трубы позволяет не сооружать в теплотехнологических установках свод, который часто имеет сложную конструкцию;

- отсутствие свода облегчает конструкции теплотехнологических установок, что особенно важно для блок-мобильных вариантов таких установок, требующих перемещения в период эксплуатации;

- отсутствие свода позволяет минимизировать потери тепловой энергии, а следовательно, уменьшить затраты топлива;

- продукты горения изолированы от рабочего пространства, что позволяет увеличить теплотворную способность производимого газа;
- «холодный» корпус рекуператора обеспечивает конструктивную жесткость «горячей» радиационной трубы;

- направленная лучистая тепловая энергия позволяет вести процессы нагрева и термообработки материалов более эффективно, с минимальными тепловыми потерями;

- процедуры монтажа, перевозки и ремонта терморектора облегчены, поскольку конструкция его разборная.

Проектирование терморекторов в первую очередь связано с разработкой конструкции и тепловыми расчетами радиационной трубы.

Нами предлагается методика расчета рекуперативной радиационной трубы направленного излучения. Целью расчета РРТНИ является определение тепловой энергии, поступающей на осуществление тепловых процессов пиролиза и газификации. Расчетная схема представлена на рис. 2.

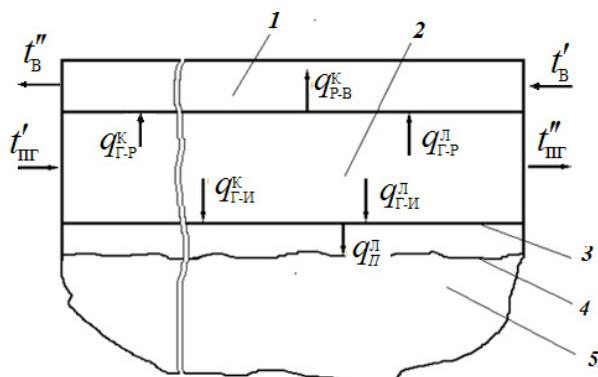


Рис. 2. Расчетная схема РРТНИ:

1 — рекуператор; 2 — радиационная труба; 3 — излучающая поверхность;
 4 — термоперерабатываемая поверхность; 5 — слой термообрабатываемого материала;
 $t_{п}'$ и $t_{п}''$ — температуры продуктов горения газа на входе и выходе из радиационной трубы;
 $t_{в}'$ и $t_{в}''$ — температуры воздуха на входе и выходе из рекуператора; $t_{и}$ и $t_{н}$ — температуры излучающей и термообрабатываемой поверхностей

Рекуперативная радиационная труба представляет систему, состоящую из трех взаимосвязанных потоков тепловой энергии: энергии продуктов горения; энергии подогрева воздуха; энергии технологического процесса (термообработки) (рис. 2). Теплообмен в этой системе осуществляется одновременно конвекцией и излучением. Основной

задачей при расчете рекуперативной радиационной трубы является определение температур продуктов горения на ее входе и выходе.

Произведенный в термореакторе газ (термогаз) покидает теплоперерабатываемую поверхность с температурой $t_{\text{п}}$. Часть газа сжигается в радиационной трубе с поступающим в нее из рекуператора подогретым до температуры $t_{\text{в}}''$ воздухом, образуя продукты горения с температурой $t_{\text{пг}}'$. Тепловая энергия от продуктов горения передается к стенке радиационной трубы на сторону рекуператора конвекцией $q_{\text{Г-Р}}^{\text{К}}$ и излучением $q_{\text{Г-Р}}^{\text{Л}}$, а также передается на технологическую сторону конвекцией $q_{\text{Г-И}}^{\text{К}}$ и излучением $q_{\text{Г-И}}^{\text{Л}}$. Тепловая энергия от стенки радиационной трубы к нагреваемому воздуху передается конвекцией $q_{\text{Р-В}}^{\text{К}}$, а на термообработку — излучением $q_{\text{п}}^{\text{Л}}$.

Радиационная труба является камерой горения, и поэтому температура продуктов горения на выходе из нее $t_{\text{пг}}''$ может быть определена с учетом пирометрического коэффициента и выражена как $t_{\text{пг}}'' = 0,6t_{\text{пг}}'$. Температура продуктов горения на входе радиационной трубы $t_{\text{пг}}'$ может быть выражена из баланса энергетических потоков в зоне горения газа $Q_{\text{Г}}^{\text{Ф}}(t_{\text{п}}) + Q_{\text{Г}}^{\text{Х}} + Q_{\text{В}}(t_{\text{в}}'') = Q_{\text{пг}}(t_{\text{пг}}')$, где $Q_{\text{Г}}^{\text{Ф}}(t_{\text{п}})$ — физическое тепло газа идущего на горение, при температуре $t_{\text{п}}$; $Q_{\text{Г}}^{\text{Х}}$ — химическая энергия газа; $Q_{\text{В}}(t_{\text{в}}'')$ — физическое тепло воздуха, поступающего на горение при температуре $t_{\text{в}}''$; $Q_{\text{пг}}(t_{\text{пг}}')$ — физическое тепло продуктов горения при температуре $t_{\text{пг}}'$.

Таким образом, распределение температур продуктов горения по длине позволяет по известным уравнениям определять лучистые и конвективные тепловые потоки к стенке и от стенки радиационной трубы. Расчет рекуператора можно осуществлять по методике [4, с. 158–165].

Поскольку температура продуктов горения по длине радиационной трубы меняется значительно, то потоки тепловой энергии определяются отдельно для ее начала и конца с последующим усреднением.

Список источников

1. Установка для термического разложения несортированных твердых органических отходов : патент 2645029 Рос. Федерация, МПК F23G 5/027 / О. И. Горин, О. Б. Колибаба, Д. А. Доли-

нин [и др.]. № 2016141869 ; заявл. 25.10.2016 ; опубл. 15.02.2018, Бюл. № 5. 9 с.

2. Мобильная установка для термической переработки твердых коммунальных отходов : патент 2672280 Рос. Федерация, МПК F23G 5/40 / О. Б. Колибаба, О. И. Горинов, Д. А. Долинин [и др.]. № 2018103307 ; заявл. 29.01.2018 ; опубл. 13.11.2018, Бюл. № 32. 10 с.

3. Современные горелочные устройства: конструкции и технические характеристики : справочное издание / А. А. Винтовкин, М. Г. Ладыгичев, В. Л. Гусовский, А. Б. Усачев. М. : Машиностроение-1, 2001. 487 с.

4. Тебенков Б. П. Рекуператоры для промышленных печей. 4-е изд., испр. и доп. М. : Metallurgy, 1975. 295 с.

References

1. Installation for thermal decomposition of unsorted solid organic waste : patent 2645029 Ros. Federation, IPC F23G 5/027 / O. I. Gorinov, O. B. Kolibaba, D. A. Dolinin [et al.]. No. 2016141869 ; dec. 10/25/2016; publ. 02/15/2018, Bull. No. 5. 9 p.

2. Mobile unit for thermal processing of solid municipal waste : patent 2672280 Ros. Federation, IPC F23G 5/40 / O. I. Gorinov, O. B. Kolibaba, D. A. Dolinin [et al.]. No. 2018103307; dec. 01/29/2018; publ. 11/13/2018, Bull. No. 32. 10 p.

3. Modern burner devices: (designs and technical characteristics) : Reference edition / A. A. Vintovkin, M. G. Ladyigichev, V. L. Gusovsky, A. B. Usachev. M. : Mechanical engineering-1, 2001. 487 p.

4. Tebenkov B. P. Recuperators for industrial furnaces. M. : Metallurgy, 1975. 295 p.

Информация об авторах

Анастасия Валерьевна Чибисова — студентка Инженерно-физического факультета Ивановского государственного энергетического университета им. В. И. Ленина (Иваново, Россия), Chibisova2040@mail.ru

Олег Иванович Горинов — доцент кафедры энергетики теплотехнологий и газоснабжения Ивановского государственного энергетического университета им. В. И. Ленина (Иваново, Россия), gorinov.oleg2019@yandex.ru

Information about the authors

Anastasia V. Chibisova — Student of the Faculty of Physics and Engineering of the Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin (Ivanovo, Russia), Chibisova2040@mail.ru

Oleg I. Gorinov — Associate Professor of the Department of Power Engineering of Heat Technologies and Gas Supply of the Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin (Ivanovo, Russia), gorinov.oleg2019@yandex.ru