Simulation of the flue gas cleaning system of an RDF

incineration power plant

Abstract

Because of the stringent pollutant emission standards introduced with the European Union guidelines for waste incineration, it is very important to optimize the flue gas cleaning systems which are able to result in a low environmental impact according to the emission limits.

In this paper a thermochemical model has been proposed for the simulation of the flue gas cleaning system of an RDF incineration plant. The model simulates the operation of the flue-gas treatment section and the combustion section by using a simplified approach. The combustion includes the grate incinerator and the post-combustion chamber, while the cleaning section includes the NOx reduction process (urea injection) and the scrubbing of SO2 and HCl (Ca(OH)2 as sorbent).

The modelling has been conducted by means of ASPEN PLUS code. The simulation results have been validated with the operating data. The model proposed by the authors can be a useful tool in both evaluating the efficiency of the gas cleaning system by verifying the environmental pollution of an incinerator power plant in nominal operating conditions and in forecasting the efficiency of the cleaning system in off-design operating conditions. **©** 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Power generation from municipal solid wastes (MSW) is an attractive technology in the areas of renewable energy utilization. MSW can be converted into energy both by the direct burning of MSW to produce electricity and by indirect burning by converting MSW into refuse derived fuel (RDF). RDF, prepared by drying and reducing the size of the waste and separating metals, glass, and other quantities of inorganic materials, can be combusted in an appropriate incineration plant. The main purpose of this paper is to study the flue gas cleaning systems used to reduce the environmental impact caused by waste incinera­tion; in fact, incineration represents a complex chemical process in which many harmful products are generated (SOx, NOx, HCl, CO, HF, dioxin, furans, Hg, etc.). For

Corresponding author. Tel.: +39 0776 2993655; fax: +39 0776 2993886.

*E-mail address:* [minutillo@unicas.it](mailto:minutillo@unicas.it) (M. Minutillo).

0956-053X/$ - see front matter **©** 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.wasman.2006.03.017

this reason, the choice and the efficiency of the flue gas cleaning systems plays a very important role in the design and operation of an incinerator plant.

New European regulations have been issued regarding the production, recycling and disposal of packaging mate­rials and waste in order to promote and encourage the pro­duction of electrical energy from renewable sources.

The Italian Legislative Decree, concerning the imple­mentation of the European Directive 96/92/EC ([European Directive 96/92/EC of Parliament, 1996](#bookmark12)), defines that ‘‘renewable energy sources are the sun, wind, hydraulic sources, geothermal sources, tides, wave motion and the transformation into electric energy of energy crops or of organic and inorganic wastes. In order to encourage the use of renewable energy, energy saving, the reduction of carbon dioxide emissions and the utilization of national energy resources, since 2001 importers and those in charge of power plants which in any year import or generate energy from non-renewable sources, are required to pro­vide the network in the following year with a share gener-

ated from a renewable source plant coming into operation or repowered, compared to the additional output only, at a date following the coming into effect of this present decree.’’

The energy recovery plant from the incineration of municipal solid waste can be considered a renewable energy plant.

2. Plant description

The RDF power plant examined in this paper consists of various sections:

* RDF combustion section: it consists of a moving grate incinerator and an additional burner system to maintain the required minimum temperature (950 °C) in the post-combustion chamber;
* heat recovery section: the steam generator has three ver­tical radiant passes and a horizontal convection pass with surfaces of the evaporators, superheaters and economizers;
* flue-gas treatment section: it consists of a SNCR system, a spray absorber system and a baghouse filter;
* power generation section: it consists of a condensing tur­bine unit, coupled directly with the generator.

The main design parameters and performance of the plant are listed in [Table 1](#bookmark0). The plant was built by Lurgi Energie und Umwelt GmbH (Solmaz and Junghahn, 1992); therefore the sewage and waste treatment technol­ogy and the flue gas cleaning systems are owned by Lurgi Engineering.

The combustion system is a counter-reciprocating grate. The air supply is divided into two streams: the pri­mary air is used for stoichiometric combustion and forced draught compartments of the grate system and the second­ary air, which is mixed with the combustion off-gases to improve the burnout of the combustible material and to assure the excess of air (minimum percentage of O2 in the exhaust gases), according to the limits imposed by reg­ulation. The secondary air is injected into the post-com-

Table 1

Parameters and performance of the incineration plant

|  |  |
| --- | --- |
| Design value | |
| RDF low heat value | 15 MJ/kg |
| Fuel mass flow | 12.52 ton/h |
| Steam mass flow | 54 ton/h |
| Flue gas temperature at boiler outlet | 240 **°**C |
| Steam temperature at turbine inlet | 415 **°**C |
| Steam pressure at turbine inlet | 43 bar |
| Pressure at turbine outlet | 0.15 bar |
| Thermal power | 52.16 MW |
| Gross electric power | 12.13 MW |
| Auxiliary | 1.64 MW |
| Net electric power | 10.48 kW |
| Net electric efficiency | 20% |

bustion chamber where some pollutants are reduced (Piao et al., 2000).

Furthermore, dioxins/furans are generated during the combustion. These pollutants must be controlled in order to reduce the environmental impact. Generally, activated carbon is used to reduce heavy metals and dioxin/furan concentrations according to stringent European discharge standards.

The removal of NOx from the flue gas can be performed using two processes: selective catalytic reduction (SCR) and selective non-catalytic reduction (SNCR). In the SNCR process, NOx in the flue gas is reduced to N2 by reaction with urea (CO(NH2)2) in water solution at high temperatures (900-1000 °C). The increase of the tempera­ture, in fact, results in the occurring of the reaction without using a catalyst. The efficiency of the SNCR process depends upon several factors, including temperature, NOx level, reagent-flue gas mixing, etc. Generally, NOx reduction efficiencies of 30-70% have been reported, but efficiencies as high as 80% can be obtained (Radojevic, 1998).

The capture of acid gas can be carried out by absorption methods using two main alkaline sorbents, namely lime Ca(OH)2 (more rarely CaO) and sodium bicarbonate NaHCO3, resulting in flue gas cleaning residues composed of Ca-based salts and Na-based salts, respectively (Bode-nan and Deniard, 2003).

Lime processing can be carried out during liquid-gas interactions (wet process), solid-gas interactions (dry pro­cess), or both successively (semi-dry process) (Bodenan and Deniard, 2003). In this plant, the removal of the NOx and acid gases is obtained by SNCR and the semi-dry absorption process, respectively. The SNCR system is located in the post-combustion chamber.

The flue gas, after leaving the post-combustion chamber for the NOx reduction, is conveyed into the heat recovery section of the plant for the steam generation (superheated steam). From the steam generator the flue gas passes through the acid gas capturing system (semi-dry process with Ca(OH)2 as sorbent). The separation of the solid products takes place by means of the baghouse filter. After these cleaning processes, the flue gas is induced to the exhaust stack.

Additional captures of dioxins and mercury can be achieved by the addition of powder activated carbon.

3. The thermochemical model

In this paper a thermochemical model has been pro­posed for the simulation of the flue gas cleaning systems of an RDF power plant. The flowsheet used to model the flue gas cleaning systems is shown in [Fig. 1](#bookmark1). The flowsheet of the plant, modelled by means of Aspen Plus code (Aspen Plus 12.1 User Guide, 2000), is based on blocks corre­sponding to unit operations, as well as chemical reactors. By interconnecting the blocks using material and energy streams, a complete process flowsheet can be realized

ПЕРЕВОД:

Моделирование системы очистки отработавших газов для установки сжигания RDF (вторичного топлива из отходов)

**Краткий обзор**

Принимая во внимание строгие стандарты, внедренные Европейским Союзом относительно загрязнения атмосферы вредными веществами, очень важным является оптимизировать системы очистки отработавших газов для сокращения выбросов и следовательно снижения отрицательное влияние на окружающую среду.

В данной статье описывается термохимическая модель построения системы очистки отработавших газов для установки сжигания RDF (вторичного топлива из отходов). Данная модель воспроизводит работу на этапе обработки выхлопных газов и этапе сжигания, используя упрощенный подход. Сжигание включает мусоросжигательную печь и камеру дожигания, в то время как этап очистки включает снижение NOx (впрыскиванием карбомида) и очистку от SO2 и HCl (в качестве сорбента используется Ca(OH)2 ).

Моделирование управляется с помощью программы ASPEN PLUS. Результаты моделирования подтверждены производственными показателями. Модель, предлагаемая авторами, может стать полезным инструментом как для оценки эффективности системы очистки газа, путем контроля загрязнения окружающей среды в нормальных рабочих условиях, так и для прогнозирования эффективности очистительной системы в непредвиденных условиях.

**©** 2006 Elsevier Ltd. Все права защищены.

**1. Введение**

В плане использования альтернативных источников энергии, технология производства электроэнергии из твердых бытовых отходов (ТБО) представляется весьма привлекательной. ТБО могут быть преобразованы в энергию как непосредственно сжиганием, так и с помощью превращения ТБО во вторичное топливо (RDF). Вторичное топливо, приготовленное высушиванием и сокращением размера отходов и отделением металлов, стекла и других неорганических материалов, может быть сожжено на соответствующей мусоросжигательной установке. Основной целью данной статьи является изучение системы очистки отработавших газов для поиска методов снижения воздействия на окружающую среду последствий сжигания отходов. Ведь сжигание представляет собой сложный химический процесс, в результате которого в атмосферу выбрасывается множество вредных веществ (SOx, NOx, HCl, CO, HF, диоксин, фуран, Hg, и многое другое).

По этой причине выбор и эффективность системы очистки отработавших газов играют очень важную роль в конструировании и работе мусоросжигательной установки.

Внедрены новые европейские нормы, касающиеся производства, переработки и уничтожения упаковочных материалов и отходов с тем, чтобы способствовать и поощрять производство электроэнергии из возобновляемых источников.

В соответствии с Законодательным декретом, касающимся исполнения Европейской директивы 96/92/EC (директива Европейского парламента 96/92/EC, 1996 года), возобновляемыми источниками энергии являются солнце, ветер, гидравлические источники, геотермальные источники, приливы и отливы, волновое движение, сельскохозяйственные культуры, используемые в качестве источника энергии и органические и неорганические отходы. Для расширения использования возобновляемых источников энергии, экономии энергии, сокращения выпуска в атмосферу углекислого газа и утилизации национальных энергетических ресурсов, с 2001 года импортеры и компании, отвечающие за эксплуатацию электростанций которые генерируют энергию от невозобновляемых источников, должны в следующем году обеспечить энергосистему долей энергии, выработанной из возобновляемого источника на введенной в

эксплуатацию или переоснащенной установке (учитывая только ее прирост мощности), начиная с даты вступления в силу настоящего декрета.

Установка для выработки энергии от сжигания твердых бытовых отходов может считаться возобновляемым источником энергии.

**2. Описание установки**

Установка для переработки вторичного топлива из отходов, описываемая в данной статье состоим из различных секций:

* секция сжигания вторичного топлива: состоит из подвижной решетки мусоросжигательной печи и дополнительной системы нагрева для поддержания минимальной температуры (950 °C) в камере дожигания;
* секция утилизации вторичного тепла: генератор пара имеет три вертикальных канала для лучистых потоков и горизонтальный конвекционный канал с поверхностями испарителей, пароперегревателей и экономайзеров;
* секция обработки выхлопных газов: состоит из системы выборочного каталитического восстановления, распылительного абсорбера и рукавного фильтра;
* Секция выработки электроэнергии: состоит из конденсационной турбины, соединенной непосредственно с генератором.

Основные параметры конструкции и расчетные характеристики установки приведены в таблице 1. Установка построена немецкой компанией Lurgi Energie und Umwelt (Зольмац и Юнгхан, 1992 год), поэтому технология обрабтки сточных вод и отходов и система очистки отрабтавшего газа принадлежит разработкам Lurgi.

Горелотопочное оборудование представляет собой возвратно-поступательную решетку. Подача воздуха делится на два потока: первичный воздух, используемый для стехиометрического сжигания и отсеков принудительной тяги решетчатой системы и вторичный воздух, который смешивается с отходящем газом, полученным при горении для улучшения сгорания горючих материалов и обеспечения избытка воздуха (минимального процента O2 в отходящих газах), в соответствии с ограничениями, прописанными в нормативных документах. Вторичный воздух вводится в камеру дожигания, гуменьшается количество загрязняющих веществ.

Таблица 1

Параметры конструкции и расчетные характеристики установки

|  |  |
| --- | --- |
| Расчётное значение | |
| Сгорание вторичного топлива при невысоком нагреве | 15 MJ/кг | |
| Массовый расход топлива | 12,52 тонн/ч | |
| Массовый расход пара | 54 тонн/ч | |
| Температура отработавшего газа в выпускном отверстии парового котла | 240 **°**C | |
| Температуро пара во входном отверстии турбины | 415 **°**C | |
| Давление пара во входном отверстии турбины | 43 бар | |
| Давление во входном отверстии турбины | 0,15 bar | |
| Тепловая мощность | 52,16 МВт | |
| Полная мощность | 12,13 МВт | |
| Вспомогательная мощность | 1,64 МВт | |
| Полезная мощность | 10.48 кВт | |
| Коэффициент полезного действия | 20% | |

Во время горения выделяются диоксины/фураны. Выброс этих загрязняющих веществ должен контролироваться для того, чтобы сократить отрицательное влияние на окружающую среду. Как правило для снижения концентраций тяжелых металлов и диаксинов/фуранов в соответствии с высокими европейскими стандартами по выбросам используется активированный уголь.

Удаление NOx из отработавшего газа можно проводить используя два процесса: выборочное каталитическое восстановление (ВКВ) и выборочное некаталитическое восстановление (ВНВ) В процессе ВНВ NOx в отработавшем газе превращается в N2, в результате реакции с карбомидом (CO(NH2)2) в водном растворе при высоких температурах (900-1000 °C). В действительности реакцию вызывает повышение температуры без использования катализатора. Эффективность процесса ВНВ зависит от нескольких факторов, включающих температуру, уровень NOx, смешивания отработавшего газа-реагента и т.д. Обычно фиксируется снижения концентрации NOx на 30-70%, но снижение может достигнуть и 80%.

Поглощение кислого газа может производиться с помощью метода поглощения, с применением двух основных щелочных сорбентов, а именно извести Ca(OH)2 (реже CaO) и бикарбоната натрия NaHCO3, которое приводит к осадку после очистки отработавшего газа, состоящему из кальций- и натрий-содержащих солей (Bode-nan and Deniard, 2003).

Процесс известкования может проводиться во время взаимодействия со сжиженным газом (технология жидкостной обработки), с плотным газом («сухой» процесс) или с обоими по порядку (полусухой процесс). На данной установке удаление NOx и кислых газов достигается путем последовательного применения процессов ВНВ и полусухого процесса поглощения. Система ВНВ находится в камере дожигания.

После извлечения из камеры дожигания для снижения уровня NOx, отработавший газ переносится в секцию утилизации вторичного тепла для генерации пара (перегретый пар). Из генератора пара отработавший газ проходит через систему поглощения кислого газа (полусухой процесс с применением Ca(OH)2 в качестве сорбента). Отделение твердых компонентов происходит с помощью рукавного фильтра. После этих процессов очистки отработавший газ выводится в выхлопную трубу.

Можно провести дополнительное улавливание диоксинов и ртути, используя дополнительную порцию порошка активированного угля.

**3. Термохимическая модель**

В данной работе описывается термохимическая модель построения системы очистки отработавих газов для установки сжигания RDF (вторичного топлива из отходов). Схема для моделирования системы очистки отработавшего газа показана на Рис. 1 Схема установки, моделируемой с помощью программы Plus code (Руководство пользователя Aspen Plus 12.1, 2000), разделена на блоки в соответствии с операциями агрегата, а также химическими реакциями. В блоках схемы наглядно продемонстрирован весь процесс, а также использование материалов и течение энергии