

Моделирование процесса плазменной газификации медицинских отходов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Проведено моделирование плазменной газификации медицинских отходов. Специфика расчета теплового баланса для процессов плазмохимической переработки отходов заключается в том, что интервал рабочих температур может изменяться в очень широких пределах. Этот расчет показывает, что для осуществления переработки медицинских отходов необходимо три генератора плазмы. В результате был выбран трехфазный однокамерный плазмотрон.

Ключевые слова: медицинские отходы, плазменная газификация, тепловой баланс, плазмотрон, температурный режим.

Традиционные процессы утилизации отходов исчерпали свои экологические и технологические возможности, а в связи с быстрым ростом накопления отходов ориентация на них ведет в тупик. Сегодня плазменная технология признана как передовая и находящаяся на стадии активного развития для крупнотоннажной переработки отходов. В развитых странах в последние годы вводят в эксплуатацию новые заводы с плазменной переработкой отходов. Все они базируются на близкой идеологической основе – используются мощные воздушные плазмотроны (сотни киловатт – мегаватты) с добавкой водяного пара. Качественный скачок в процессе переработки отходов ожидается при переходе на чистую водяную плазму. В настоящее время отсутствуют какие-либо технические средства, кроме плазмотронов, позволяющие разогреть большое количество водяного пара до плазменного состояния.

Моделирование процесса плазменной газификации проводили на примере медицинских отходов. Для анализа принят следующий набор: полимерные материалы (полиэтилен, полипропилен, полихлорвинил в равных долях) – 18...25% и выше, перевязочные материалы, бумага, картон (целлюлоза, хлопок) – 15...20% и выше, резиновые и латексные изделия – 4...5% и выше, стекло не более – 4...5%, металл (латунь, нержавеющая сталь и т.п.) не более – 4...5%, биологические отходы – 5...10%, некондиционные сухие лекарственные препараты – 5...10%, влага – до 20%.

Специфика расчета теплового баланса для процессов плазмохимической переработки отходов заключается в том, что интервал рабочих температур может изменяться в очень широких пределах – от 273 до 3000 К. Изменение изобарной теплоемкости газа в таком интервале существенно, и его нельзя не учитывать при проведении расчетов термодинамических функций и параметров процесса. Приведенные в литературе аппроксимационные уравнения зависимости изобарной теплоемкости газа от температуры не охватывают указанный температурный диапазон. Поэтому были определены коэффициенты аппроксимационных уравнений для зависимости изобарной теплоемкости составляющих дымового газа от температуры. Рабочий диапазон температур был разбит на две части – 273...900 К и 800...3600 К. Для каждой части рабочего диапазона теплоемкость газообразного вещества рассчитывалась по уравнению:

$$C_p(T) = a_0 + a_1T + a_2T^2 + \frac{a_3}{T} + \frac{a_4}{T^2}$$

где a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – ранее определенные коэффициенты.

В соответствии с изменением изобарной теплоемкости в зависимости от температуры изменяются и значения теплоты образования веществ, определяющих тепловой эффект реакции.

Теплоту образования рассчитывали по уравнению

$$H(T) = H(298) + \int_{298}^T C_p(T) dT$$

где $H(298)$ – стандартная теплота образования вещества, $H(T)$ – теплота образования при температуре T .

Изменение теплоемкости газов от температуры при расчетах теплового баланса учитывалось для всех процессов. Изменение теплоемкости жидкостей и твердых веществ от температуры не учитывалось.

Тепловой баланс технологического процесса приведен для режима сжигания отходов при $\alpha = 1$ (таблица).

Температура газов в барабанном реакторе и коэффициент избытка воздуха являются основными параметрами, определяющими качество процесса сгорания отходов, а также количество и состав дымовых газов, поступающих на последующие стадии процесса обезвреживания отходов. При плазмохимической деструкции эти параметры могут изменяться под влиянием различных возмущающих воздействий. В связи с этим в ходе процесса такие параметры необходимо стабилизировать.

Основным возмущающим воздействием, приводящим к изменению температуры в печи и необходимого количества воздуха, является постоянно изменяющийся состав отходов.

Тепловой баланс плазменной переработки медицинских отходов

Сжигание в печи		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	543424.5	150.95
в том числе: от плазмотронов	452835.6	125.79
- с жидкостью	6852.3	1.90
- с твердым	3147.1	0.87
- от химических реакций	1301001.0	361.39
Расход тепла:		
- на испарение воды	175760.0	48.82
- с газом	1440541.0	400.15
- с твердым	15970.5	4.44
- потери	222153.0	61.71
невязка баланса	1.00e-7	
Дожигание		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	1933496.0	537.08
в том числе от плазмотронов	70755.5	19.65
- с жидкостью	2510.0	0.70
- от химических реакций	767701.7	213.25
Расход тепла:		
- на испарение воды	67766.7	18.82

Продолжение таблицы

- с газом	2500755.0	694.65
- потери	135185.0	37.55
невязка баланса	-1.19e-8	
Закалка и восстановление NO _x		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	2502513.0	695.14
- с жидкостью	9223.3	2.56
- от химических реакций	5411.3	1.50
Расход тепла:		
- с газом	2268670.0	630.19
- на испарение воды	248477.8	69.02
невязка баланса	-1.45e-7	
Закалка — 2-ая стадия		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	2271219.0	630.89
- с жидкостью	24263.3	6.74
Расход тепла:		
- с газом	1640405.0	455.67
- на испарение воды	655077.8	181.97
невязка баланса	-2.18e-7	
Охлаждение газов		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	1646997.0	457.50
Расход тепла:		
- с газом	1646997.0	457.50
невязка баланса	1.00e-7	
Подогрев воздуха дымовыми газами		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с воздухом	58877.5	16.35
- с дымовыми газами	1646997.0	457.50
Расход тепла:		
- с воздухом	758877.5	210.80
- с дымовыми газами	946996.6	263.05
невязка баланса	-3.29e-7	
Очистка газов в трубе Вентури		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	946996.6	263.05
- с жидкостью	2543236.0	706.45
- от растворения галогенводородов	7795.7	2.17
Расход тепла:		
- с газом	275842.3	76.62
- с жидкостью	2554871.0	710.69
- на испарение воды	667314.8	185.37
невязка баланса	1.10e-7	
Очистка газов в насадочном скруббере		

Продолжение таблицы

Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	275842.3	76.62
- с жидкостью	3279255.0	910.90
- от растворения галогенводородов	1481.9	0.41
Расход тепла:		
- с газом	274723.8	76.31
- с жидкостью	3294569.0	915.16
- на испарение жидкости	12713.4	3.53
невязка баланса	-2.90e-7	
Очистка газов на аэрозольном фильтре		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с газом	274723.8	76.31
- с жидкостью	1673.3	0.46
Расход тепла:		
- с газом	269922.1	74.98
- с жидкостью	6475.0	1.80
невязка баланса	2.655e-8	
Смешение газов перед адсорбцией		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с дымовыми газами	269922.1	74.98
- с воздухом	283080.6	78.63
Расход тепла:		
- с дымовыми газами	553002.7	153.61
невязка баланса	1.32e-8	
Смешение газов перед выбросом в атмосферу		
Приход тепла:	кДж/ч	кВт
- с дымовыми газами	553002.7	153.61
- с воздухом	280380.4	77.88
Расход тепла:		
- с дымовыми газами	833383.0	231.50
невязка баланса	1.65e-8	

Исходя из расчета теплового баланса для осуществления процесса плазменной переработки медицинских отходов, необходимо использовать два плазменных генератора, обеспечивающих подачу нагретого воздуха: один – в барабанную печь, и другой – в камеру дожигания. Для удобства эксплуатации предполагается применять плазменный генератор одного типа – трехфазный однокамерный плазматрон переменного тока с рельсовыми электродами. Этот плазматрон работоспособен в диапазоне мощностей от 25 до 300 кВт и имеет КПД от 0,4 до 0,85. Ресурс непрерывной работы без замены электродов составляет более 100 часов.

Выводы

Изменение теплоемкости газов в зависимости от температуры при расчетах теплового баланса учтено для всех процессов. Изменение теплоемкости жидкостей и твердых веществ в зависимости от температуры не учитывали.

Проведенными модельными расчетами показано, что для осуществления процесса переработки отходов необходимо использование трех генераторов плазмы. Предполагается применять плазменный генератор одного типа – трехфазный однокамерный плазмотрон переменного тока с рельсовыми электродами.

Список литературы

1. Бернадинер, И.М. Термическое обезвреживание медицинских отходов в Москве [Текст] / И.М. Бернадинер // Экология и промышленность России – 2004. – 200 с.
2. Бернадинер, М.Н. Огневая переработка и обезвреживание твердых бытовых отходов [Текст] / М.Н. Бернадинер, А.П. Шуругин. – М.: Химия, 1990. – 529 с.
3. Абрамов, В.Н. Удаление отходов лечебно-профилактических учреждений [Текст] / В.Н. Абрамов. – М.: Материк, 1998. 328 с.
4. Лисичкин, В.А. Закат цивилизации или движение к ноосфере [Текст] / В.А. Лисичкин, Л.А. Шелепин, Б.В. Боев // Экология с разных сторон. – М.: ИЦГарант, 1997. –115 с.

Рецензент: к.т.н. доц. М.Ю. Леонов Национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

Поступила в редакцию 06.09.2013

Моделювання процесу плазмової газифікації медичних відходів

Проведено моделювання плазмової газифікації медичних відходів. Специфіка розрахунку теплового балансу для процесів плазмохімічної переробки відходів полягає в тому, що інтервал робочих температур може змінюватися в дуже широких межах. Цей розрахунок показує, що для здійснення переробки медичних відходів потрібно три генератори плазми. В результаті був вибраний трифазний однокамерний плазмотрон.

Ключові слова: медичні відходи, плазмова газифікація, тепловий баланс, плазмотрон, температурний режим.

Modeling plasma gasification of medical waste

This article is devoted to modeling plasma gasification of medical waste. Heat balance calculation (specific heat balance calculation for plasma chemical recycling process is that the range of operating temperatures may vary over a very wide range) for the process of processing of medical waste it is necessary to use three plasma generators, has been selected three-phase, single chamber plasma torch.

Keywords: medical waste, plasma gasification, heat balance, plasma torch, temperature control.