

ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ РЕАКТОРА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОГРАНИЧЕННОГО ЧИСЛА ДАТЧИКОВ

Алехина Н.В., студент; Гнитиев П.А., студент; Бирюков А.Б., к.т.н., доцент
(*Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина.*)

Имеется множество сведений о синтезе углеродных наноматериалов (УНМ), в частности углеродных нанотрубок (УНТ), при помощи различных методов (электродуговое осаждение, CVD-синтез, каталитический пиролиз на поверхности подложек с катализатором и т.д.) [1]. При обилии информации о результатах применения каждого из методов в различных модификациях сложно определиться с выбором оптимальных условий работы каждого конкретного реактора.

Применение систем диагностики позволяет исследовать влияние различных технологических параметров на интенсивность протекания процесса образования УНМ:

- вид углеводорода или состав углеводородной смеси;
- доля инертных разбавляющих газов в случае добавки последних;
- температура в реакционной зоне;
- характер подачи газов в реактор (скорость истечения, параметры пульсации и т.д.);
- состояние подложки с катализатором (неподвижное, кипящий слой, виброожиженное состояние и т.д.).

Постановка задачи исследования

В данной работе усилия сосредоточены на разработке алгоритма работы экспертной системы для анализа тепловой работы реакторов пиролизного синтеза УНМ, основанной на построении моментальных тепловых балансов, не имеющей в своем составе газоанализатора для определения содержания компонентов в газообразной среде, покидающей реактор (рис. 1).

Изложение основных материалов исследования и результатов

Согласно работе [2] моментальный тепловой баланс работы реактора составляется на основании сигналов датчиков при помощи определения величины $Q_{\text{расх}}^{\text{энд}}$, которая определяет уравновешивание моментального теплового баланса.

$$Q_{\text{расх}}^{\text{энд}} = Q_{\text{пр}}^{\text{исх угл}} + Q_{\text{пр}}^{\text{эл нагр}} - Q_{\text{расх}}^{\text{газ прод}} - Q_{\text{расх}}^{\text{пот реак}}$$

Изменение величины расхода тепла на покрытие эндотермического эффекта реакций во времени $Q_{\text{расх}}^{\text{энд}}(\tau)$ позволяет судить об истощении реакционной способности катализатора.

Величина $Q_{\text{расх}}^{\text{пот реак}}$ определяется при помощи расчетной модели с учетом геометрических и теплофизических характеристик ограждения реакторов и замеряемого значения температуры в реакционной зоне. Вторым вариантом определения этой величины может служить обработка сигналов термопар, заделанных в стенках реактора, позволяющих идентифицировать величины потоков теплопотерь.

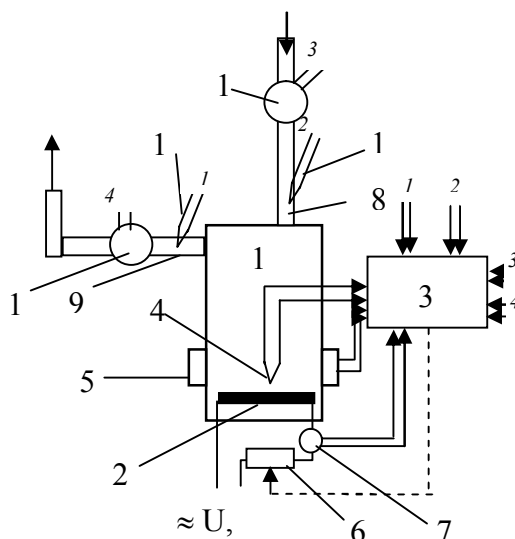


Рисунок 1 – Структурная схема системы диагностики тепловой работы реактора УНМ:

1 – реактор; 2 – электрический нагреватель; 3 – контроллер; 4 – термопара в реакционной зоне; 5 – датчики диэлектрической проницаемости реакционного пространства; 6 – реостат, для управления тепловой мощностью, выделяемой на нагревателе реактора; 7 – прибор для замера мощности, потребляемой нагревателем; 8 – патрубок подвода углеводорода; 9 – патрубок отвода газообразных продуктов; 10 – расходомеры; 121– термопары; 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5 – сигналы от соответствующих чувствительных элементов.

Основным компонентом газовой смеси, покидающей реактор, является водород, остальные компоненты представлены недоразложенными углеводородами, в случае добавления в исходную газовую смесь инертных газов последние полностью уходят с газовым потоком, покидающим реактор. Для значительной части существующих реакторов стационарный газоанализатор для изучения состава газообразной среды, покидающей реактор, не установлен. В данной работе создан алгоритм, позволяющий определять величину теплового потока для реакторов, не имеющих в составе КИП стационарного газоанализатора, в которых пиролизическое разложение исходного углеводорода протекает по следующей схеме:



и при этом не образуются никакие другие продукты.

Сущность алгоритма заключается в сопоставлении расходов исходного и покидающего реактор газ.

В общем случае, полагая, что каталитическому разложению подвергается только часть углеводорода, а остальная в своем начальном состоянии переходит в конечный состав газов, покидающих установку, имеем:

– для случая подачи чистого углеводорода конечный газ характеризуется наличием двух компонентов (исходного углеводорода и водорода) и имеет следующий процентный состав:

$$\%C_m H_{2n} = \frac{1-\chi}{1+\chi \cdot (n-1)} \cdot 100; \quad \%H_2 = \frac{\chi \cdot n}{1+\chi \cdot (n-1)} \cdot 100;$$

– для случая использования в качестве начального сырья смеси исходного углеводорода и инертного газа в составе конечного газа имеем исходный

углеводород, инертный газ и водород при следующем процентном соотношении:

$$\%C_m H_{2n} = \frac{(1-\chi) \cdot (1-\gamma)}{(1+\chi \cdot (n-1)) \cdot (1-\gamma) + \gamma} \cdot 100; \quad \%H_2 = \frac{\chi \cdot n \cdot (1-\gamma)}{(1+\chi \cdot (n-1)) \cdot (1-\gamma) + \gamma} \cdot 100;$$
$$\%G = \frac{\gamma}{(1+\chi \cdot (n-1)) \cdot (1-\gamma) + \gamma} \cdot 100.$$

Доля прореагировавшего углеводорода определяется как:

$$\chi = \frac{V_k - V_n}{(n-1) \cdot V_n}.$$

Для обоих рассмотренных случаев расход исходного потока газов установлен на уровне 100 л/мин ($1.67 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$). В первом случае рассматривается пиролизное разложение метана при отсутствии инертного газа, а во втором случае рассматривается изменение долей метана и водорода в зависимости от расхода газа, покидающего реактор. Необходимым условием правильности полученных данных является выполнение условия равенства суммы долей компонентов смеси ста процентам при любом значении расхода уходящих газов в диапазоне от V_n до $2 \cdot V_n$.

Получение информации о составе газов, покидающих реактор, позволяет определять значение теплоемкости уходящих газов $c(t^{\text{газпрод}})$:

$$c(t^{\text{газпрод}}) = 0.01 \cdot (c_{\text{CmH2n}}(t^{\text{газпрод}}) \cdot \%C_m H_{2n} + c_{\text{H2}}(t^{\text{газпрод}}) \cdot \%H_2 + c_G(t^{\text{газпрод}}) \cdot \%G),$$

где $c_{\text{CmH2n}}(t^{\text{газпрод}})$, $c_{\text{H2}}(t^{\text{газпрод}})$, $c_G(t^{\text{газпрод}})$ – теплоемкости компонентов газовой смеси, покидающих реактор, взятые при соответствующей температуре.

Для автоматической работы предлагаемой системы диагностики необходимо наличие библиотеки зависимостей теплоемкостей газовых компонентов от температуры, для газов, которые могут присутствовать во входящем и выходящем газовых потоках. Такие зависимости могут быть либо найдены в справочной литературе в функциональном виде, готовом к использованию, либо в табличном виде [3].

Использование современных вычислительных пакетов типа MathCAD позволяет сравнительно просто получить функциональные зависимости на основании обработки табличных данных.

Выводы

Разработаны подходы для работы экспертной системы, нацеленной на управление тепловой работой реакторов каталитического синтеза УНМ, в аппаратной части которой не используются стационарные газоанализаторы.

В основе предложенных решений лежит углубленная интерпретация информации о расходах газообразных сред на входе и выходе из реактора.

Перечень ссылок

1. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены: Учебн. Пособие. – М.: Университетская книга, Логос, 2006.– 376 с.
2. Бирюков А.Б., Кравцов В.В., Новикова Е.В., Алехина Н.В. Системы диагностики тепловой работы лабораторных, полупромышленных и промышленных реакторов синтеза углеродных наноматериалов Промышленная теплотехника .– Выпуск (3).– с. 75-80
3. Казанцев Е.И. Промышленные печи: Справочное руководство для расчета и проектирования, 2-е издание дополненное и переработанное.– М.: Металлургия, 1975.– 368 с.