

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГАЗОГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО НА БИОМАССЕ

В.А. Марушко, аспирант (УО БГАТУ)

Аннотация

Рассмотрен один из подходов к созданию математической модели газогенератора, работающего на биомассе.

Введение

В настоящее время, в связи с проблемой истощения природных запасов невозобновляемых источников энергии, практически во всех странах мира возобновлены научно-исследовательские работы по использованию нетрадиционных источников энергии для нужд народного хозяйства. Можно утверждать, что газогенераторные установки, работающие на биомассе — один из возможных путей частичного решения энергетической проблемы на локальном и местном уровне экономики тех или иных государств.

Значительное количество исследователей занимались проблемой развития и совершенствования устройства и работы газогенератора. При этом, инженерами решались, в основном, прикладные вопросы увеличения выхода генераторного газа методом экспериментальной проверки возникающих проблем при создании новых конструкторских разработок в этой сфере.

Исходя из того, что идея создания газогенераторной установки возникла в середине XIX в., а уже реально работающий образец был создан в конце того же века, то можно говорить об изучении газогенератора с позиции его интеллектуализации, полной или частичной автоматизации всех технологических процессов, имеющих место в газогенераторе. Но при этом следует иметь в виду то, что для того, чтобы управлять объектом, надо его описать математически. Математические описания существующих процессов в газогенераторах достаточно сложны, и, исходя из настоящей публикации, рассмотрим один из возможных подходов к созданию математической модели газогенератора.

Классическим описанием поведения в газогенераторе сплошной среды являются уравнения Навье-Стокса, которые имеют вид в векторном виде:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -(\vec{V} \cdot \Delta) \vec{V} + \nu \Delta \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla P + \vec{f} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0,$$

где ∇ — оператор Гамильтона, Δ —

оператор Лапласа, \vec{V} — вектор скорости, t — время, ν — коэффициент кинематической вязкости, ρ — плотность, P — давление, \vec{f} — вектор плотности массовых сил.

Иногда в систему уравнений Навье-Стокса дополнительно включают уравнение теплопроводности.

Следует отметить, что до сих пор решения этих уравнений найдены лишь в некоторых частных случаях. Так как в общем случае оно не решается аналитически современными методами математики, то на практике ограничиваются аналитическим решением частных задач или используется численное моделирование.

Рассмотрение поведения среды в газогенераторе этими уравнениями не является оптимальным (реальным), так как при её использовании сложность описания газогенератора становится значительной и не целесообразной.

По существу, представить математическое описание поведения сплошной среды в газогенераторе можно с помощью следующих групп моделей, представленных на рисунке 1, если пренебречь сжимаемостью (вязкостью) газа.

Считается, что описание газогенераторной установки является исчерпывающим, если мы будем использовать только уравнения теплового баланса и уравнения материального баланса [1].



Рисунок 1. Представление возможного математического описания газогенератора [2].

Выбор метода решения существующей задачи

При описании структуры потоков в газогенераторе, можно руководствоваться тем, что существуют следующие основные модели:

1. идеального смешения;
2. идеального вытеснения;
3. диффузионная;
4. ячеечная;
5. ячеечная с обратными потоками (рециркуляционная);
6. комбинированные [2].

Так как газогенератор имеет несколько зон реакций (ячеек) и обычно движение массы прореагировавших веществ происходит от одной ячейки к другой, то будем считать, что газогенератор описывается ячеечной моделью, причем каждая ячейка представляет собой модель идеального смешения. Ячеечная схема гипотетического газогенератора представлена на рисунке 2.

Сделаем следующие допущения:

1. в каждой ячейке происходит идеальное перемешивание;
2. между ячейками отсутствует обратное перемешивание.

Запишем уравнение сохранения массы для ячейки [1]:

$$Q_m M_{сх} - Q_m M_{max} = V_y \frac{dM_{сх}}{dt}, \quad (2)$$

где Q_m – массовый расход вещества через ячейку газогенератора, кг/с;

M – масса перемещаемого вещества, кг;

V_y – объём ячейки, м³.

Передающая функция объекта управления

Для целей описания процесса управления объектом получим передающую функцию газогенератора. Преобразуем уравнение (2) к виду:

$$\frac{V_y}{Q_m} \frac{d}{dt} M_{сх} + M_{сх} = M_{ax}. \quad (3)$$

Таким образом

$$TpM_{сх}(p) + M_{сх}(p) = M_{ax}(p), \quad (4)$$

$$T = \frac{V_y}{Q_m}; p = \frac{d}{dt}.$$

Передающая функция ячейки газогенератора будет иметь вид:

$$W(p) = \frac{M_{сх}(p)}{M_{ax}(p)} = \frac{1}{Tp + 1}. \quad (5)$$

В соответствии с [1], газогенератор имеет следующие реакционные зоны (ячейки в нашем моделировании):

1. Зона нагрева и сушки.
2. Зона удаления летучих фракций.

3. Зона пиролиза.
4. Зона газификации.

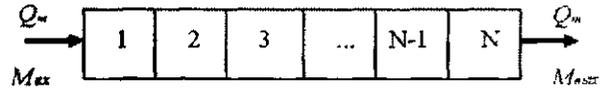


Рисунок 2. Схема ячеечной модели газогенератора [2].

Обозначим T_1, T_2, T_3, T_4 – как постоянные времени, соответственно зонам 1, 2, 3, 4, получаем структурную схему, изображенную на рисунке 3.

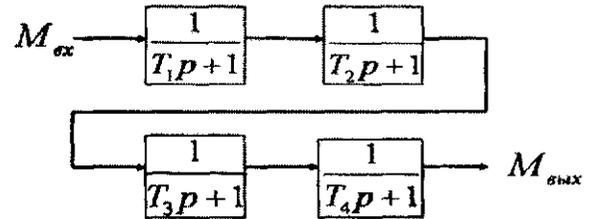


Рисунок 3. Структурная схема газогенератора

Структурную схему на рисунке 3 можно привести к виду, представленному на рисунке 4.

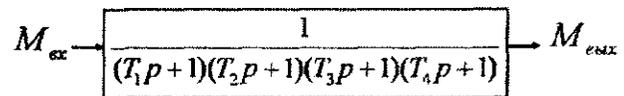


Рисунок 4. Преобразованная структурная схема газогенератора.

Определим числовые значения T_1, T_2, T_3, T_4 для последующего изучения отклика модели объекта в среде MATLAB на ступенчатую и импульсную функции.

Будем рассматривать в статье газогенераторную установку мощностью 100 кВт по [3].

$$Q_m = 50 \text{ кг} / \text{ч} = 0,0139 \text{ кг} / \text{с}.$$

Высота реактора 2,7 м; ширина – 1,3 м; глубина – 3,2 м.

Примем, что объемы ячеек равны, т.е.

$$V_y = 2,7 \cdot 1,3 \cdot 3,2 / 4 = 2,808 \text{ м}^3.$$

Количество получаемого газа из 1 кг древесины в соответствии с [3] – 1,8...2,5 м³. Примем среднее значение – 2,15 м³ или 1,548 кг при средней плотности генераторного газа – 0,72 кг/м³ [1].

Для упрощения расчетов примем $T_1 = T_2 = T_3 = T_4$, что является достаточно грубым приближением и требует дальнейшего уточнения.

$$T = \frac{V_y}{Q_m} = \frac{2,808 \text{ м}^3}{0,0139 \text{ кг} / \text{с}} = \frac{2,808 \text{ м}^3}{0,0193 \text{ м}^3 / \text{с}} = 145,49 \text{ с}, \quad (6)$$

то есть

$$W(p) = \frac{1}{(145,49p + 1)^4} \quad (7)$$

Результаты моделирования полученного объекта на импульсную и ступенчатую функции представлены на рисунках 5 и 6.

Выводы

Результат моделирования и расчета передаточной функции объекта показал, что (при указанных исходных данных) объект аperiodический, устойчивый и возможно построение системы регулирования газогенератора с достаточно простым алгоритмом управления.

Таким образом, была рассмотрена только узкая часть всех проблем создания математической модели газогенераторных установок. Автор публикации показал возможность создания математической модели газогенератора только с точки зрения материального

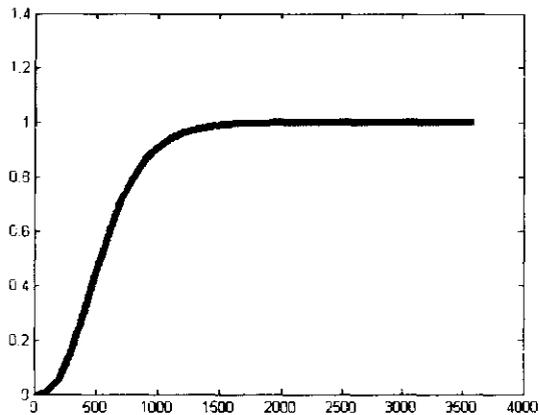


Рисунок 5. Отклик модели на ступенчатую функцию.

баланса. Можно еще упомянуть о том, что создание функционирующей системы управления газогенераторными установками позволит не только экономить

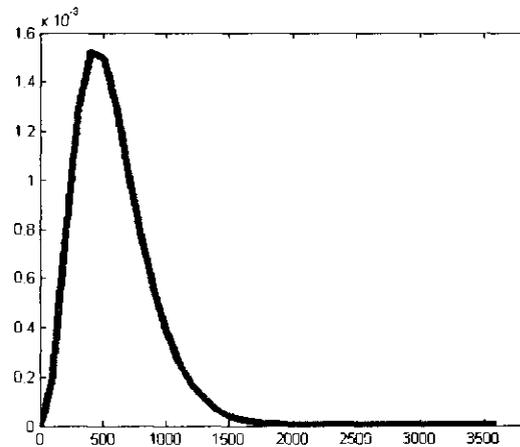


Рисунок 6. Отклик модели на импульсную функцию.

расход топлива, но и повысить мощность энергетической установки, экологичность, снизить требования к качеству потребляемого топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биомасса, как источник энергии: Пер. с англ. / Под ред. С. Соуфера, О. Заборски. – М.: Мир, 1985. – 368 с.
2. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.
3. Технические условия. Установка теплоэнергующая газогенераторная УГГО-1. ТУ РБ 14588540.009-96.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на второе полугодие 2007 года: для индивидуальных подписчиков - 17700 руб., ведомственная подписка - 35400 руб.