

УДК 662.641:628.475.3

## АНАЛИЗ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГАЗИФИКАЦИИ ТОРФА

**Фазлави Мостафа**

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Санкт-Петербург, e-mail: mostafa2002@yandex.ru*

Приведенная в статье математическая модель позволит решить задачи теплообмена между элементами экспериментального газогенератора: торф, газ и стенки. Газогенератор разработан на основе проведения различных методов газификации торфа в одной установке, в результате чего, упрощается сравнение результатов разных процессов газификации торфа. Модель состоит из двух субмоделей и трех стадий: начальная, промежуточная до предпоследней и последняя стадия. Таким образом можно определить тепловой режим внутри газогенератора и, следовательно, происходящие химические реакции процесса газификации торфа. Для контроля решения уравнений приведен критерий температуры активной зоны газификации торфа, которая не должна быть ниже температуры окружающей среды. Уравнения решаются методом Ньютона-Якоба с применением критерия температуры. Также приведен алгоритм решения задачи.

**Ключевые слова:** торф, газификация торфа, математическая модель газификации торфа

## ANALYSIS OF THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE GASIFICATION OF PEAT

**Fazlavi Mostafa**

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, e-mail: mostafa2002@yandex.ru*

Given in paper the mathematical model will allow solving task of heat transfer between the elements of the experimental gasifier peat, gas and walls. The gasifier is designed based on holding different gasification methods of peat in a single unit, thus is simplified comparison of results of different gasification processes of peat. The model consists of two sub-models, and three stages: primary, intermediate to the penultimate and final stage. Thus, it is possible to determine the thermal conditions within the gasifier and hence the chemical reactions occurring gasification process of peat. For the control, solutions of the equations are the criteria of the active zone temperature gasification of peat, which is improper to be below the ambient temperature. The equations are solved by Newton-Jacob disease using criteria temperature. In addition, algorithm is shown for the solution task of heat transfer.

**Keywords:** peat, gasification of peat, mathematical model of gasification of peat

Схема разработанного экспериментального газогенератора приведена на рис. 1. Представленный газогенератор позволит провести все виды газификации, для определения различных параметров, в том числе температуры, давления и состава выходящего газа и другие. Разработанный экспериментальный газогенератор позволит легко изменить начальные параметры, такие как состав вводящего дутья (можно вводить воздух или менять соотношение кислорода в вводящем дутье), его скорость и давление. Таким образом, можно определить оптимальные вводящие параметры для получения максимально горючего газа на выходе.

Экспериментальный газогенератор имеет простую форму конструкции с тремя положениями для ввода или отбора газов и одним положением для ввода подаваемого дутья при оптимизированном двухфазовом процессе газификации. Нужно отметить, что при работе газогенератора по одному процессу газификации, трубы, не участвующие в данном процессе будут закрыты.

Экспериментальный газогенератор имеет цилиндрическую форму диаметром 300 мм и высотой 1000 мм. Высота рабочего объема составляет 700 мм, таким образом, рабочий объем равен 0,0495 м<sup>3</sup> [1].

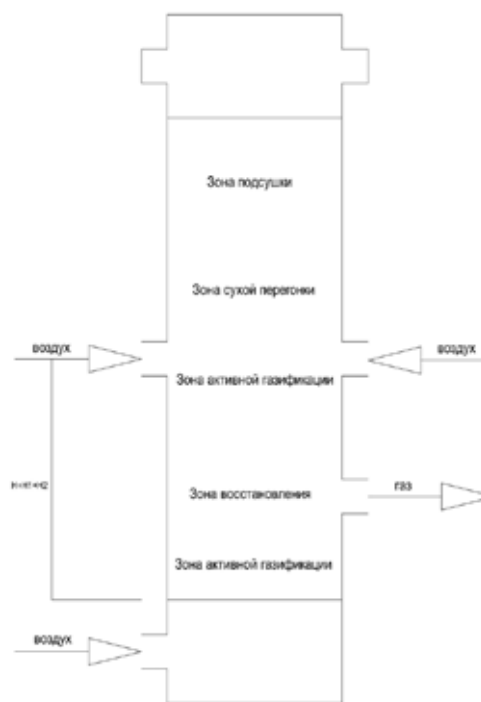


Рис. 1. Схема экспериментальной установки газификации торфа

**Цель исследования.** В работе моделируется процесс газификации торфа как твердого топлива. В модели рассматриваются физические и химические процессы, протекающие в процессе газификации торфа, в том числе процесс переноса тепла. Для решения стационарного распределения температуры, представляющей собой не линейными уравнениями теплопереноса используется вычислительный инструмент.

Модель разделится на два этапа, так называемые субмодели:

- модель теплообмена;
- модель химических превращения торфа и газовой фазы.

Вычислительный инструмент, используемый при решении задач теплообмена, построен на основе расчета стационарного состояния, поэтому нестационарные составляющие будут приведены нулю.

**Методы исследования.** В расчете приведены разные значения температуры торфа в качестве топлива, газа и стенки экспериментальной установки, тем самым учитывается конечная скорость теплообмена между элементами процесса газификации торфа.

Математическая модель с помощью, которой можно определить характер процесса газификации торфа записывается следующим образом [2]:

$$\lambda_m \frac{\partial^2 T^m}{\partial l^2} - c_p J^m \frac{\partial T^m}{\partial l} + Q^m + \alpha^{m,c} \rho^m \bar{S}^{m,c} (T^c - T^m) - \frac{2\alpha^{m,c}}{R} (T^m - T^c) - \frac{2\alpha_{rad}^{m,c}}{R} [(T^m)^4 - (T^c)^4] = 0; \quad (1)$$

$$\lambda_c \frac{\partial^2 T^c}{\partial l^2} - c_p J^c \frac{\partial T^c}{\partial l} + Q^c + \alpha^{m,c} \rho^m \bar{S}^{m,c} (T^c - T^m) - \frac{2\alpha^{c,c}}{R} (T^c - T^c) = 0; \quad (2)$$

$$\lambda_c \frac{\partial^2 T^m}{\partial l^2} + \frac{2\alpha^{m,c}}{R} (T^m - T^c) + \frac{2\alpha_{rad}^{m,c}}{R} [(T^m)^4 - (T^c)^4] - \frac{2\alpha^{окр.}}{R} (T^c - T^{окр.}) - \frac{2\alpha_{rad}^{окр.}}{R} [(T^c)^4 - (T^{окр.})^4] = 0; \quad (3)$$

$$D_j \frac{\partial^2 x_j}{\partial l^2} - u_j^c \frac{\partial x_j}{\partial l} + F_j(x, T) = 0, j \in N_c; \quad (4)$$

$$-J^m \frac{\partial x_m}{\partial l} + F_m(x, T) = 0; \quad (5)$$

$$Q^c = Q^c(x, T); Q^m = Q^m(x, T); \quad (6)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м°C;  $c_p$  – удельная теплоемкость, Дж/кг°C;  $J$  – удельный массовый расход кг/м²с;  $Q$  – источник теплоты Вт/м³;  $\alpha$  – коэффициент межфазного теплообмена, Вт/м²°C;  $\bar{S}^{m,c}$  – удельная внешняя поверхность торфа, м²/кг;  $\rho^m$  – насыщенная плотность торфа, кг/м³;  $R$  – радиус экспериментальной установки, м;  $l$  – значение координирующее по направлению оси реактора, м;  $D_j$  – коэффициент диффузии генераторного газа, м²/с;  $x_j$  – концентрация генераторного газа, моль/м³;  $u^c$  – линейная скорость движения генераторного газа м/с;  $F$  – источник частиц, моль/м³.

В уравнениях индексы  $m$ ,  $c$  и  $окр.$  относятся к характеристикам торфа, генераторного газа, стенки экспериментальной установки и окружающей среды соответственно.

Для аппроксимации функции  $F_j$ ,  $F_m$ ,  $Q^c$ ,  $Q^m$  с помощью макрокинетического ограничения на скорость процесса газификации торфа создается термодинамическая модель.

Экспериментальная установка разделится на  $N$  элементарных объемов по высоте активной зоны газификации торфа для численного решения уравнений теплообмена в стационарном состоянии между торфом, газом, стенками и окружающей средой. При решении данной задачи используется закон Фурье для определения теплообмена внутри фазы, а для межфазного теплообмена-закон Ньютона-Рихмана.

Площадь свободного сечения торфа в слое определяется следующей формулой:

$$S = 0.25\pi D^2. \quad (7)$$

Порозность засыпки согласно теоретическим и экспериментальным анализам близка к 0,35-0,4. порозность с протеканием процесса газификации торфа меняется, но погрешность при постоянной величине порозности не высока (приблизительно 10%)

В первой стадии входят торф как топливо и газ с начальными значениями температуры  $T_0^m, T_0^z$  и их расходы  $J_0^m$  и  $J_0^z$ . Температура торфа и газа могут быть не равными. Из первой стадии выходят торф и газ с температурами,  $T_1^m$  и  $T_1^z$ , часть тепло уходит в окружающую среду из за теплообмена со стенками экспериментальной установки. Появление  $Q_i$  объясняется наличием источника и стока теплоты.

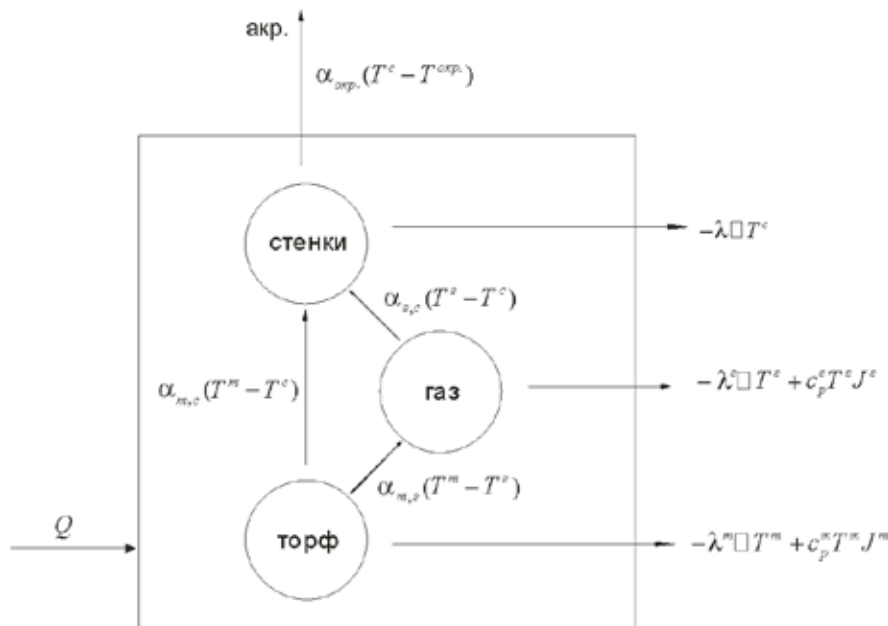


Рис. 2. Протекающие процессы теплообмена в элементарном объеме экспериментальной установки

Исходя из этого, суммарный тепловой баланс определяется следующими уравнениями:

$$c_p^m T_0^m J_0^m + \alpha^{m,z} (T_1^z - T_1^m) - \alpha^{m,c} (T_1^m - T_1^c) - \alpha_{rad}^{m,c} [(T_1^m)^4 - (T_1^c)^4] + Q_1^m - c_p^m T_1^m J_1^m - \alpha^m (T_1^m - T_2^m) = 0; \quad (8)$$

$$c_p^z T_0^z J_0^z + \alpha^{z,m} (T_1^z - T_1^m) - \alpha^{z,c} (T_1^z - T_1^c) + Q_1^z - c_p^z T_1^z J_1^z - \alpha^z (T_1^z - T_2^z) = 0; \quad (9)$$

$$\alpha^{z,c} (T_1^z - T_1^c) + \alpha^{m,c} (T_1^m - T_1^c) + \alpha_{rad}^{m,c} [(T_1^m)^4 - (T_1^c)^4] - \alpha^c (T_1^c - T_2^c) - \alpha^{окр.} (T_1^c - T^{окр.}) - \alpha_{rad}^{окр.} [(T_1^c)^4 - (T^{окр.})^4] = 0, \quad (10)$$

где  $\alpha_j = \frac{\lambda_j S_j}{\delta l}, j = \{m, z, c\}$  (11)

$$S_m = 0.25\Pi\pi D^2, \quad (12)$$

$$S_z = 0.25(1-\Pi)\pi D^2, \quad (13)$$

$$S_c = 0.25\pi[(D+2d_c)^2 - D^2]. \quad (14)$$

Межфазный теплообмен

$$\alpha_{jk} = \alpha_{jk} S_{jk}, \quad j \neq k = \{m, z, c\}, \quad \alpha_{jk} = -\alpha_{kj}. \quad (15)$$

Со второй стадии до предпоследней стадии:

$$c_p^m T_{i-1}^m J_{i-1}^m + \alpha^m (T_{i-1}^m - T_i^m) + \alpha^{m,z} (T_i^z - T_i^m) - \alpha^{m,c} (T_i^m - T_i^c) - \alpha_{rad}^{m,c} [(T_i^m)^4 - (T_i^c)^4] + Q_p^m - c^m T_i^m J_i^m - \alpha^m (T_i^m - T_{i+1}^m) = 0; \quad (16)$$

$$c_p^z T_{i-1}^z J_{i-1}^z + \alpha^z (T_{i-1}^z - T_i^z) - \alpha^{z,m} (T_i^z - T_i^m) - \alpha^{z,c} (T_i^z - T_i^c) + Q_i^z - c_p^z T_i^z J_i^z - \alpha^z (T_i^z - T_{i+1}^z) = 0; \quad (17)$$

$$\alpha^c (T_{i-1}^c - T_i^c) + \alpha^{z,c} (T_i^z - T_i^c) + \alpha^{m,c} (T_i^m - T_i^c) + \alpha_{rad}^{m,c} [(T_i^m)^4 - (T_i^c)^4] - \alpha^c (T_i^c - T_{i+1}^c) - \alpha^{окр.} (T_i^c - T^{окр.}) - \alpha_{rad}^{окр.} [(T_i^c)^4 - (T^{окр.})^4] = 0. \quad (18)$$

Предпоследняя стадия:

$$c_p^m T_{N-1}^m J_{N-1}^m + \alpha^m (T_{N-1}^m - T_N^m) + \alpha^{m,z} (T_N^z - T_N^m) - \alpha^{m,c} (T_N^m - T_N^c) - \alpha_{rad}^{m,c} [(T_N^m)^4 - (T_N^c)^4] + Q_{Np}^m - c^m T_N^m J_N^m = 0; \quad (19)$$

$$c_p^z T_{N-1}^z J_{N-1}^z + \alpha^z (T_{N-1}^z - T_N^z) - \alpha^{z,m} (T_N^z - T_N^m) - \alpha^{z,c} (T_N^z - T_N^c) + Q_N^z - c_p^z T_N^z J_N^z = 0; \quad (20)$$

$$\alpha^c (T_{N-1}^c - T_N^c) + \alpha^{z,c} (T_N^z - T_N^c) + \alpha^{m,c} (T_N^m - T_N^c) + \alpha_{rad}^{m,c} [(T_N^m)^4 - (T_N^c)^4] - \alpha^{окр.} (T_N^c - T^{окр.}) - \alpha_{rad}^{окр.} [(T_N^c)^4 - (T^{окр.})^4] = 0. \quad (21)$$

Таким образом, имеем 3 системы уравнения с  $3N$  неизвестными, решение которых производится с помощью метода Ньютона. Метод Ньютона не дает результаты высокой точности, тем не менее, при проставлении достаточно естественных начальных условий можно получить результаты близкие к данным полученным из экспериментальных опытов. Начальные условия для постоянной температуры по высоте экспериментальной установки можно задать следующей формулой

$$T_{i+1} = T_i - JF_i \quad (22)$$

где  $T$  – температура, векторное значение;  $J$  – матрица Якоби для уравнения теплового баланса,  $F$  – векторное значение теплового баланса.

В случае если векторное значение температуры будет ниже температуры окружающей среды, то уменьшается величина шагов в 2 раза и снова решается задача для соответствия вышеуказанному условию.

Расход торфа в экспериментальной установке зависит от работы двигателя внутреннего сгорания. Ниже приведен алгоритм (рис. 3), который состоит из двух расчетных этапов: первый этап определяет состав генераторного газа и тепловые воздействия на химических реакциях при помощи метода оптимального спуска для решения термодинамического равновесия. На втором этапе, учитывая известные тепловые воздействия, производится расчет стационарного распределения температуры по активной зоне экспериментальной установки газификации торфа.[3] Мощность источников теплоты для упрощения решения задачи считается постоянной величиной.

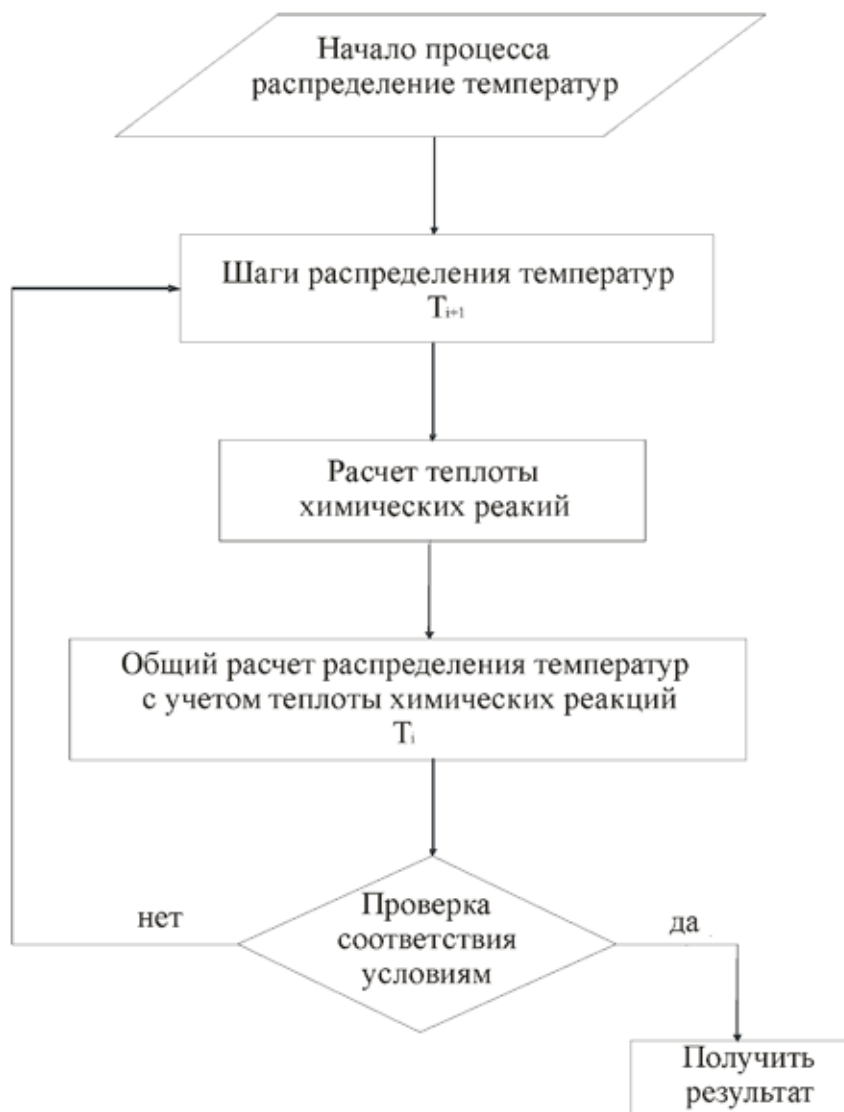


Рис. 3. Алгоритм решения стационарного распределения температур в экспериментальной установке

### Вывод

В ходе выполнения исследования разработана математическая модель для расчета теплопереноса при газификации торфа которая разделена на две субмодели, позволяющая решать задачи распределения температуры внутри активной зоны газификации торфа, определения химических процессов при газификации торфа

и с минимальной погрешностью решить поставленную задачу.

### Список литературы

1. Фазлави Мостафа, оптимизация процесса газификации торфа // Современные проблемы науки и образования. – №1. – 2015.
2. Донской И.Г. Моделирование и оптимизация режимов работы газогенераторов плотного слоя для парогазовой мини ТЭС: дис. – Иркутск, 2014.
3. Шарпанов А.Я. Термодинамика и теплопередача. – Харьков, 2008.