



УДК 662.76

**ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПОТОЧНОГО ГАЗИФИКАТОРА****REVIEW OF ENTRAINED-FLOW GASIFIER
MODELLING METHODS**

Ефимовых Илья Сергеевич, магистрант каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: i.s.efi@mail.ru, Тел.: +7(963)047-49-16

Богатова Татьяна Феоктистовна, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: tb-upi@mail.ru. Тел.: +7(912)243-26-08

Абаимов Николай Анатольевич, старший преподаватель каф. «Тепловых электрических станций», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Efimovych Iliya Sergeevich, master student, Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: i.s.efi@mail.ru. Ph.: +7(963)047-49-16

Bogatova Tatyana Feoktistovna, Doctor Sc., Head of the Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: t.f.bogatova@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-47-31

Abaimov Nikolay Anatolevich, Senior Lecturer, Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia.

Аннотация: Рассмотрены основные методы моделирования сложных технологических систем на базе газификации твердого топлива. Показаны достоинства и недостатки эмпирико-балансных, термодинамических, пространственных моделей. Применение моделирования планируемых концептуальных решений позволяет определить состав получаемого синтез-газа, оценить предельно возможную эффективность процесса, принять адекватные конструктивные решения.

Abstract: The main modeling methods of complex technological systems on the basis of solid fuel gasification are considered. Advantages and disadvantages of empiric-balance, thermodynamic, 3D models are shown. Application of simulation of the planned conceptual decisions allows to define composition of received synthesis gas, to estimate extremely possible process efficiency, to make adequate constructive decisions.

Ключевые слова: газификация твердого топлива, моделирование, синтез-газ, эффективность процесса.

Key words: solid fuel gasification, simulation, syngas, process efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Газификационные установки представляют собой сложный технологический комплекс. Практическая реализация таких комплексов требует предварительного моделирования планируемых концептуальных решений, чтобы определить оптимальную конфигурацию газификационной установки. Для этой цели применяют различные методы моделирования.

ЭМПИРИКО-БАЛАНСНЫЕ МОДЕЛИ

Наиболее простое рассмотрение процесса газификации заключается в представлении его в виде одностадийного процесса преобразования массы и энергии [1]. В этом случае можно записать уравнения баланса для химических

элементов и для тепловой/химической энергии для входящих и выходящих из газификатора потоков. В этом случае для расчета необходимы будут только состав и расходы топлива и дутья. Однако в эмпирико-балансных методиках расчета используют, как правило, данные, полученные экспериментальным путем, или известные данные о конверсии различных элементов (например, что топливная сера при газификации превращается преимущественно в сероводород, а топливный азот – в молекулярную форму). Такие методы расчета процесса газификации позволяют рассчитать состав синтез-газа для оценочных расчетов.

К недостаткам эмпирико-балансных методик расчета процессов газификации можно отнести

ограничения в расширении диапазона применимости полученных в результате расчета данных, а также необходимость проведения экспериментальных исследований для получения эмпирических зависимостей. Однако эмпирико-балансные методики расчета часто используют, например, для оценки состава летучих или для оценки отношения CO/CO_2 в продуктах реакции углерода топлива с кислородом.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Во многих исследованиях эффективности угольных ПГУ используются термодинамические модели конечного равновесия для классических условий ($p, T = \text{const}$; $p, H = \text{const}$). Для более точных расчетов требуется, как правило, дополнительно знать тепловой баланс реакционной зоны (изменение энтальпии системы за счет теплообмена) [1]. За счет простоты вычислений такие модели часто используются для описания реакционной зоны газификаторов в составе сложных энергоустановок [2]. Анализ процесса газификации с помощью равновесных термодинамических расчетов проводился в основном для выбора оптимальных условий проведения процесса, например, расходов топлива и дутья. Термодинамический анализ часто используется при исследованиях поведения минеральной части [3].

Преимущества термодинамических моделей является простота и надежность вычислительных алгоритмов (при допущении об идеальности газов). Но в ряде случаев для учета условий реального процесса требуются полученные экспериментальным путем эмпирические или полумпирические поправки, корректирующие состав по сравнению с равновесным.

Термодинамический анализ применяется, главным образом, для уточнения оценки предельной эффективности процесса: по сравнению с балансными методиками, равновесный расчет учитывает ограничения, определяемые законами термодинамики.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ

Для определения габаритов реакционной зоны газификатора необходимо знать зависимость степени превращения топлива от времени пребывания частицы в реакторе. В этом случае необходимы модели, учитывающие кинетику физико-химических превращений топливной частицы в потоке газа. Большое число стадий таких превращений и тесная связь явлений переноса и химических реакций приводят к сложной системе уравнений. Однако для большинства практически важных случаев эти уравнения могут быть сформулированы в значительно более простой форме. При этом

возможно использование различных комбинаций подмоделей для отдельных стадий (сушки, пиролиза, гетерогенных реакций взаимодействия топлива с окислителем) при моделировании процесса газификации в целом [1].

Наиболее простые пространственно одномерные модели не учитывают ряд пространственных эффектов, однако дают достаточно близкие оценки по времени реагирования частиц. Основной проблемой при кинетическом моделировании является задание уравнений, описывающих динамику химических превращений. Для упрощения моделирования реактор разбивают на ряд областей, для каждой из которых задают законы реагирования. За счет учета перепадов теплоты и массы между областями можно смоделировать эффекты рециркуляции и воспроизвести режимы работы промышленных газификаторов [4]. Современные вычислительные комплексы позволяют применять одномерные модели для описания процессов газификации в составе сложных теплоэнергетических установок. Многомерное 2D- и 3D-моделирование газификаторов позволяет решить ряд конструктивных или режимных вопросов, например, связанных с выбором расположения питателей или тепловыми режимами шлаковых пленок.

Основным недостатком многомерных расчетов является их требовательность к вычислительным и временным ресурсам. Так, в [5] приведены результаты моделирования реактора термической подготовки топлива (рис.1), для которого была построена неструктурированная сетка с 706203 ячейками. Каждый расчет требовал 300-500 итераций.

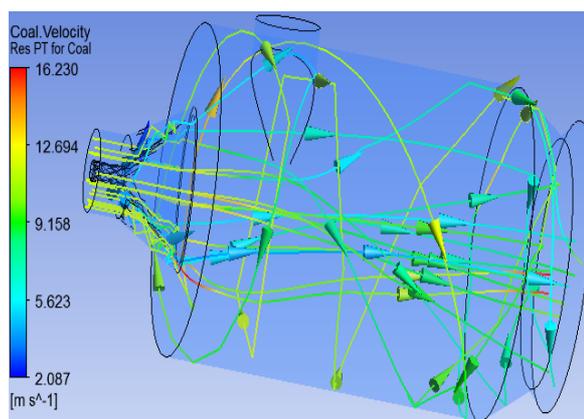


Рис. 1. Моделирование траектории и скорости движения частиц твердого топлива

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Термохимические модели успешно используются в расчетах сложных технологических процессов,

требующих предварительного моделирования планируемых концептуальных решений. При моделировании используются материальный и тепловой балансы, условия фазового равновесия, реакции конверсии топлива. Для моделирования сложных процессов применяется, например,

программное обеспечение Aspen Plus. Это программное средство обеспечивает обширный банк данных свойств для большинства веществ, а также содержит широкий спектр реализованных термодинамических моделей. Так, в [6] описаны и сравнены различные промышленно доступные

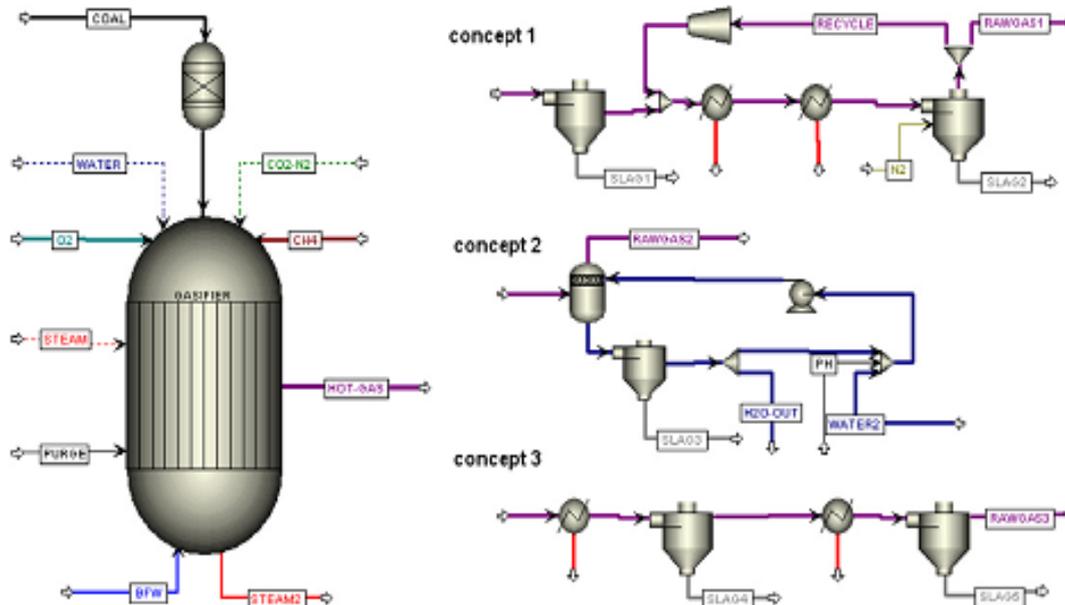


Рис. 2. Технологическая схема газификатора с различными типами секций квенчинга

проекты газификационных установок с использованием программного обеспечения Aspen Plus. Пример приведен на рис. 2.

Было проанализировано влияние различных факторов на эффективность процесса газификации, определен состав получаемого синтез-газа при различных концептуальных решениях, а также затраты энергии на собственные нужды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ технологических решений для ПГУ с внутрицикловой газификацией угля / под ред. А.Ф. Рыжкова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 564 с.
 2. Centeno F. Theoretical and experimental investigations of a downdraft biomass gasifier-spark ignition engine power system / F. Centeno, K.

Mahkamov, E. E. S. Lora [и др.] // Renewable Energy. 2012. № 37. С. 97–108.
 3. Yoshiie R. Emissions of particles and trace elements from coal gasification / R. Yoshiie, Y. Taya, T. Ichianagi [и др.] // Fuel. 2013. № 108. С. 67–72.
 4. Monaghan R. F. D. A dynamic reduced order model for simulating entrained flow gasifiers. Part I: Model development and description/ R. F. D. Monaghan, A. F. Ghoniem // Fuel. 2012. № 91. С. 61–80.
 5. Абаимов Н.А. Рыжков А.Ф. Разработка модели поточной газификации угля и отработка аэродинамических механизмов воздействия на работу газогенераторов // Теплоэнергетика. 2015. №11. С. 3–8.
 6. Christian Kunze, Hartmut Spliethoff. Modelling, comparison and operation experiences of entrained flow gasifier. Energy Conversion and Management. 2011. № 52. С. 2135–2141.