

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА МИКРОВОЛНОВОГО НАГРЕВА
КОМПОЗИЦИОННОЙ БИОМАССЫ**

Стрижак П.А., Швец А.С.

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В работе представлены результаты математического моделирования процессов термического разложения биомассы при микроволновом нагреве в широком диапазоне варьирования входных параметров. Одной из основных задач при моделировании процесса термического разложения композиционной биомассы являлось варьирование параметров процессов в диапазонах, соответствующих промышленным приложениям. В таблице приведены размеры основных элементов использованных при проведении экспериментов и создании модели.

Таблица

Размеры основных элементов при построении модели

Ширина реактора, мм	Глубина реактора, мм	Высота реактора, мм	Высота тигля, мм	Радиус тигля, мм	Радиус образца биомассы, мм	Высота слоя биомассы, мм
330	305	171	85	80	80	30

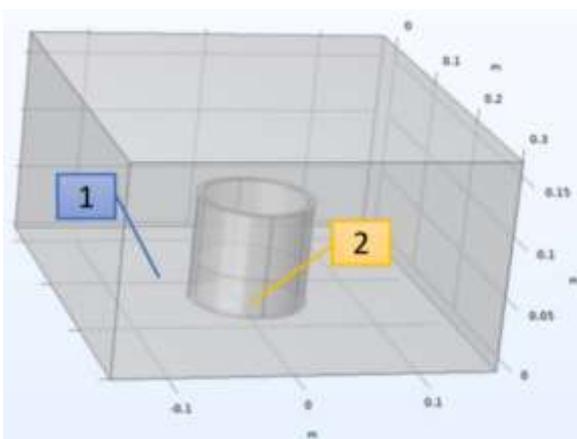


Рис. 1. Схема области решения термического разложения биомассы в микроволновом реакторе: 1 – зона смещения компонентов генераторного газа (камера реактора); 2 – слой взвешенной биомассы

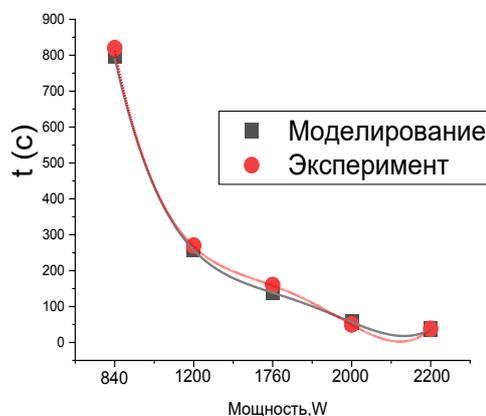


Рис. 2. Времена задержки выхода генераторного газа при варьировании мощности микроволнового излучения

При формулировании постановки задачи считалось, что на слой биомассы, помещенной в тигель, воздействует электромагнитное излучение с заданной мощностью (рис. 1). За счет диэлектрического нагрева образец прогревался. При достижении условий инициирования микроволнового термического разложения интенсифицировались процессы термического разложения биомассы с последующим выделением генераторного газа. В камере реактора формировалась парогазовая смесь, содержащая горючие (CO , H_2 , CH_4) и не горючие (SO_4 , NO , CO_2) компоненты. Временной интервал с момента запуска магнетрона до инициирования условий микроволнового термического разложения, а именно достижения температуры начала термического разложения биомассы 543,15 K [3], представлял время задержки термического разложения $\tau_{\text{п}}$. При моделировании в качестве источника нагрева принято электромагнитное излучение с варьируемой мощностью. Для верификации модели выполнены эксперименты при идентичных начальных условиях [2]. Результаты приведены на рис. 2. Расхождения полученных теоретических значений с экспериментальными данными при 840 Вт составили 2.5 %, при 1760 Вт - 2.6 %, при 2200 Вт - 2.7 %, соответственно.

Расхождения обусловлены неравномерностью засыпки материала в экспериментах и необходимостью учета изменения значений теплофизических свойств биомассы в процессе нагрева, сушки и термического разложения. На рис. 2 видно, что повышенная мощность способствует более быстрому нагреву биомассы. Скорость прогрева нелинейно возрастает. С ростом температуры увеличивается тепловой поток, подводимый к образцу биомассы. При температуре биомассы до 250 °C происходит сушка (удаляется влага). При превышении 250 °C инициируется термическое разложение биомассы. Скорость прогрева нелинейно возрастает. С ростом температуры увеличивается тепловой поток, подводимый к образцу биомассы. При росте температуры увеличивается пористость материала, усиливается выход компонентов генераторного газа. При анализе рис. 2 сформулирован вывод о том, что в диапазоне мощности от 840 до 2200 Вт экспериментальные и теоретические значения времени задержки термического разложения отличаются несущественно. С помощью построенной 3D модели, приведены расчеты времени задержки термического разложения с учетом варьирования параметров микроволнового нагрева (рис. 3-5).

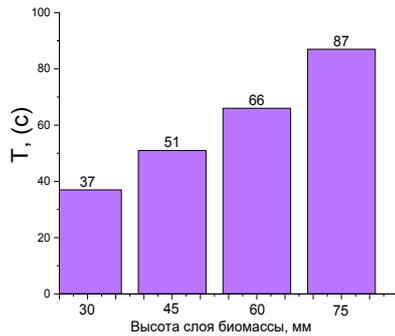


Рис. 3. Времена задержки выхода генераторного газа при варьировании при варьировании высоты загрузочного слоя биомассы

В результате моделирования, минимальное время задержки термического разложения соответствует слою биомассы высотой 30 мм, максимальное 75 мм. Показано, что механизм инициирования процесса, сохраняется в более широком диапазоне загрузки слоя. В реальных топливных приложениях может так же варьироваться выходная мощность микроволнового излучения. Разработанная модель позволяет воспроизвести различные условия теплообмена, за счет вариативности изменяемых параметров. Это является ключевым преимуществом при анализе потенциальных схем процесса микроволнового нагрева. Температуропроводность характеризует скорость изменения температуры в образце, под действием теплового потока. Композиционная биомасса характеризуется изменением температуропроводности в широком диапазоне. На рис. 4 продемонстрирован вклад этого фактора. Мощность микроволнового излучения составляла 2200 Вт. Показано, что при увеличении температуропроводности снижается время задержки термического разложения нелинейно, что обусловлено соответствующим вкладом испарения влаги и газификацией через поры [1].

Увеличение размеров реактора способствует увеличению времени задержки термического разложения (рис.5). Для разных размеров реактора целесообразно использовать оптимальную мощность микроволнового излучения, при увеличении камеры реактора увеличивается площадь зоны воздействия магнетрона, интенсивность нагрева уменьшается.

При проектировании реакторов моделирование позволяет выбрать оптимальную мощность микроволнового излучения. Необходимая энергия для рекуперации композиционной биомассы при микроволновом нагреве составляет 1.32 МДж, при термическом разложении 30 г. биомассы – полученная энергия 422.3 МДж. Обосновано, что микроволновый нагрев может проходить в автономном режиме, оставшуюся энергию можно аккумулировать для последующего использования.

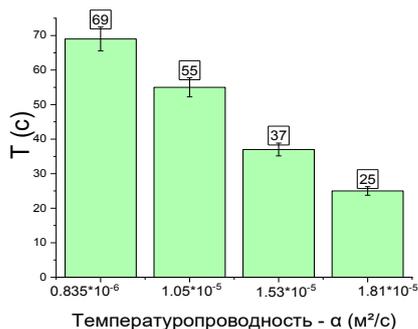


Рис. 4. Времена задержки выхода генераторного газа при варьировании температуропроводности биомассы

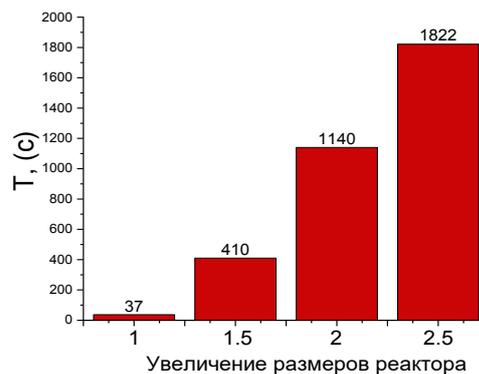


Рис. 5. Времена задержки выхода генераторного газа при варьировании размеров реактора

Литература

1. Шахов С. В. и др. Математическая модель процесса теплообмена в дымогенераторе между газом, насадкой и материалом в барабане //Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-2. – С. 108-108.
2. Шимановский А. О., Путятю А. В. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики. – 2008.
3. Arabiourrutia M. et al. Waste tyre valorization by catalytic pyrolysis–A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews.– 2020. – Т. 129. – С. 109932.