

УДК 662.6/.9:630\*892.1

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Кудрявцева Л.А., Мазуркин П.М.

*ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет,  
Йошкар-Ола, Россия*

**В статье приведены результаты исследования закономерностей роста температуры, при горении древесных опилок на приборе ОТМ, начиная от 200 °C до максимального значения. С помощью программной среды Curve Expert 1.3 получены модели динамики температуры горения опилок во времени с использованием устойчивого закона.**

**Ключевые слова:** горение, древесные опилки, температура горения

### Введение

Интерес к исследованию процессов горения древесины обусловлен, прежде всего, ее применением в качестве экологически чистого вида топлива из-за низкого содержание в ней серы: максимальное содержание серы в древесине составляет 0,05% [2]. Целью статьи является выявление закономерностей роста температуры, при горении древесных опилок на приборе ОТМ по ГОСТ 12.1.044-89 [6], начиная от 200 °C до максимального значения.

### Теоретический анализ

Горение древесных опилок протекает в гетерогенном режиме. Процесс горения состоит из следующих стадий: 1) подсушивание топлива и нагревание до температуры начала выхода летучих веществ; 2) воспламенение летучих веществ и их выгорание; 3) нагревание кокса до воспламенения; 4) выгорание горючих веществ из кокса. На практике эти стадии частично накладываются одна на другую [5].

Специфические особенности процессов горения древесины связаны с ее влажностью. Приблизительно половина массы свежесрубленного дерева состоит из воды. Вторая половина представляет собой сухое древесное вещество, содержащее 84-88% летучих веществ, 11,4-15,6% твердого углерода и 0,4-0,6% золы [2].

### Методика эксперимента

Для опытов были подготовлены пробы березовых, сосновых опилок и древесных гранул с относительной влажностью 12 %, взятые в лесопильном цехе.

Отобранный материал помещали в мешочки из стеклоткани массой 4,1 г, сшитые металлическими скрепками, масса испытываемых образцов по 50 г. Взвешивание проводили на лабораторных весах с погрешностью измерения  $\pm 0,1$  г.

Перед испытанием внутреннюю поверхность реакционной камеры прибора ОТМ покрыли двумя слоями алюминиевой фольги, толщиной не более 0,2 мм, которую по мере прогорания или загрязнения продуктами горения заменяли на новую.

Заданная температура ( $200 \pm 5$  °C) газообразных продуктов горения в реакционной камере поддерживается газовой горелкой в течение трех минут.

Образец закрепляли в держателе вертикально металлической проволокой, вводили за 3-5 с в реакционную камеру, и испытывали до достижения максимальной температуры отходящих газообразных продуктов, регистрируя время ее достижения. Для регистрации температуры использовали прибор КСП-4 с диапазоном от 0 до 600 °C, а для отсчета времени – секундомер. Отсчеты проводили при росте температуры через каждые 50 °C до достижения максимальной температуры. Предварительными испытаниями были определены примерные пределы максимума температуры. Во время основных испытаний достигаемый максимум определяли выдержкой в течение 15-30 с. Поэтому продолжительность испытания на этапе роста температуры от 200 °C определялась временем достижения интуитивного (на

основе прошлого опыта предварительных испытаний) ожидаемого максимума, а затем горелку выключали.

### Результаты и их обсуждение

Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений температуры горения во времени

Березовые опилки		Сосновые опилки		Древесные гранулы №1		Древесные гранулы №2	
Время <i>t</i> , с	Температура <i>T</i> , °C						
14	200	30	200	44	200	37	200
20	250	53	250	100	250	55	250
30	300	65	300	157	300	70	300
36	350	75	350	215	350	92	350
45	400	90	400	245	400	167	400
79	450	130	450	276	450	300	450
140	450	185	500	330	500	-	-
160	400	-	-	-	-	-	-
175	500	-	-	-	-	-	-

Максимальная температура отходящих газообразных продуктов горения первых трех образцов составляет 500 °C, а последнего 450 °C. Данные табл. 1 подвергли статистической обработке в программ-

ной среде Curve Expert 1.3 [4] для получения устойчивых закономерностей.

Сжигание образца с березовыми опилками представлено на рис. 1, остатки – рис. 2.

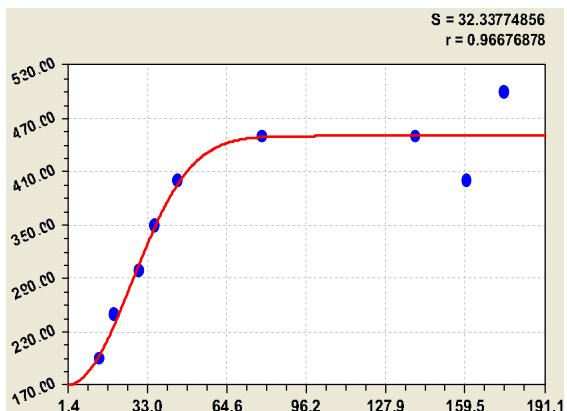


Рис. 1. Изменение температуры горения березовых опилок:

*S* – сумма квадратов отклонений;  
*r* – коэффициент корреляции



Рис. 2. Остатки моделирования данных температуры горения березовых опилок

Выход летучих веществ из древесины начинается уже при температуре 105 °C, поэтому при 200 °C они быстро воспламеняются, ускоряя процесс роста температуры от газовой горелки. Этот этап растянут во времени из-за разнообразия летучих веществ, имеющих разные температуры воспламенения в пределах 105-230 °C.

Общеизвестно [3], что с начала горения происходит разложение гемицеллюлоз (200-260 °C) и затем, при более высокой

температуре, разложение целлюлозы (240-350 °C) и лигнина (280-500 °C). За время горения при температуре 400-500 °C, из-за снижения летучей горючей массы в образце древесины, наступает максимум температуры горения.

Идентификацией устойчивых законов выявили модель динамики температуры горения березовых опилок во времени первого этапа с использованием устойчивого закона вида

$$T = 450,5149 - 281,1157 \exp(-0,00046088t^{2,14906}), \quad (1)$$

где  $T$  – температура отходящих газообразных продуктов горения материала,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t$  – время горения, с.

Сжигание образца с сосновыми опилками представлено на рис. 3, остатки – рис. 4.

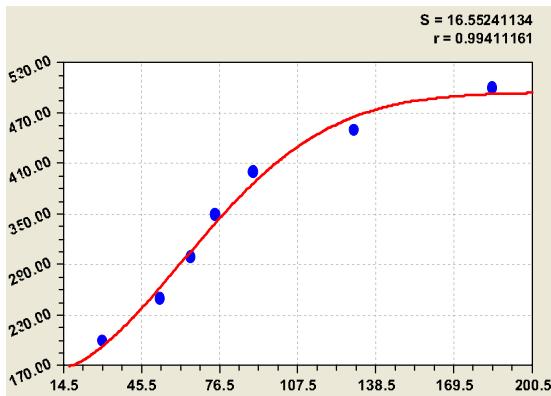


Рис. 3. Изменение температуры горения сосновых опилок

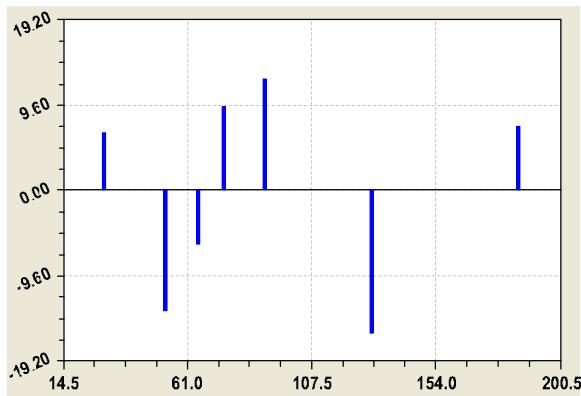


Рис. 4. Остатки моделирования данных температуры горения сосновых опилок

Составили модель динамики температуры горения сосновых опилок во времени первого этапа с использованием устойчивого закона

$$T = 494,76723 - 338,70604 \exp(-0,0001004t^{2,07677}). \quad (2)$$

Время достижения максимальной температуры горения сосновых опилок больше, чем у березовых.

Сжигание образца с древесными гранулами №1 представлено на рис. 5, остатки – рис. 6.

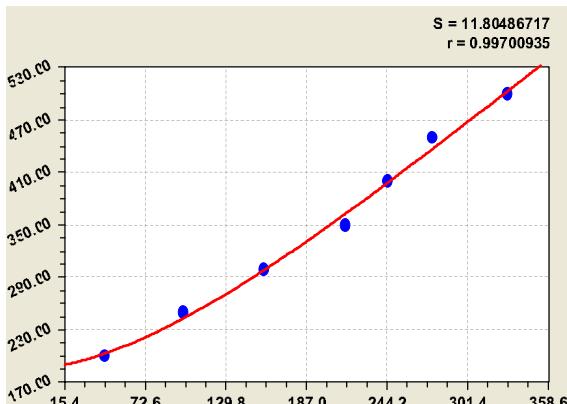


Рис. 5. Изменение температуры горения древесных гранул №1

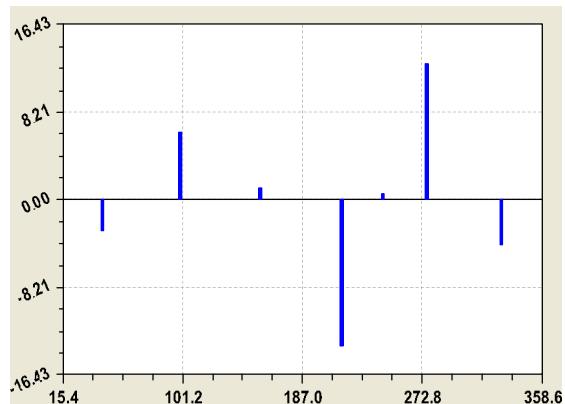


Рис. 6. Остатки моделирования данных температуры горения древесных гранул №1

Модель динамики температуры горения древесных гранул во времени первого этапа с использованием устойчивого закона имеет вид

$$T = 1195,7787 - 1008,7748 \exp(-0,000041603t^{1,57149}). \quad (3)$$

Сжигание образца с древесными гранулами №2 представлено на рис. 7, остатки – рис. 8.

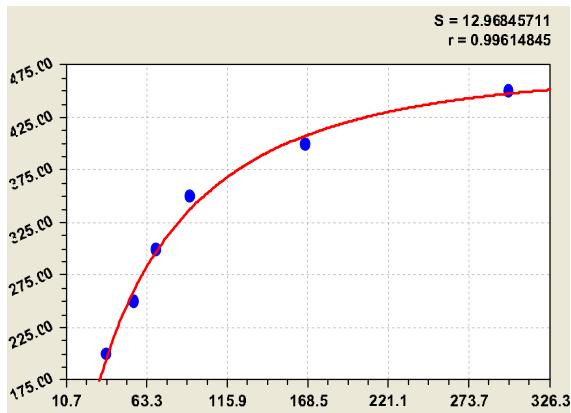


Рис. 7. Изменение температуры горения древесных гранул №2

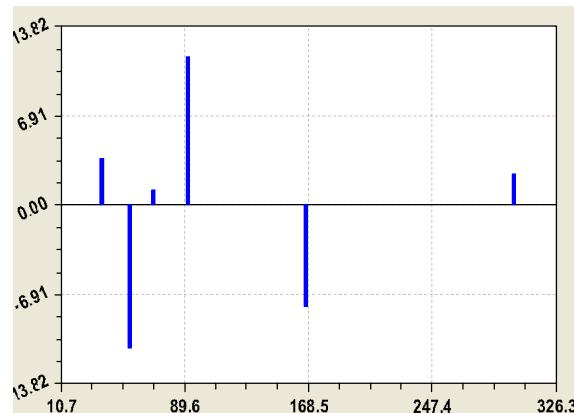


Рис. 8. Остатки моделирования данных температуры горения древесных гранул №2

Модель динамики температуры горения древесных гранул №2 во времени первого этапа с использованием устойчивого закона имеет вид

$$T = 467,83434 - 723,44776 \exp(-0,10498 t^{0,6186}). \quad (4)$$

Процесс достижения максимальной температуры при горении древесных гранул в 1,6-1,8 раза дольше по времени, чем горение опилок. Это связано с большими размерами древесных гранул и высокой удельной плотностью 1300-1400 кг/м<sup>3</sup>, по сравнению с плотностью сосновых (500 кг/м<sup>3</sup>) и березовых (630 кг/м<sup>3</sup>) опилок [1].

### Заключение

Важнейшим параметром горения древесных опилок является температура горения. Тепловые характеристики топлива зависят от типов химических структур и связей, что определяет значительные различия в выходе летучих в зависимости от температуры.

Для обеспечения оптимального процесса горения с минимальными выбросами от неполного сгорания топлива необходимо обеспечить поддержание высокой температуры горения, достаточно длительного времени пребывания и оптимального смешения топливных газов с воздухом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987.
- Джон Вос. Использование энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь. Методические рекомендации по применению передовой практики. Часть А: Сжигание биомассы [Электронный ресурс] / Джон Вос. – Режим доступа: <http://www.bioenergy.by/practa.htm>, свободный.
- Драйздейл Д. Пер. с англ. Бомштейн К.Г. Под ред. Кошмарова Ю.А., Макарова В.Е. Введение в динамику пожаров. М.: Стройиздат, 1990.
- Мазуркин П.М., Филонов А.С. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: Учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006.
- Скрябин В.И. Теплотехника. – М.: ВНТИЦ, 2002. – № 50200200706.
- ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 52 с.

**STUDYING THE WOOD SAWDUST BURNING TEMPERATURES  
GROWTH REGULARITIES**

Kudryavtseva L.A., Mazurkin P.M.

*Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, Russia*

The research results of wood sawdust burning temperatures growth regularities on device OTM starting from 200 °C up to the maximal value are presented in article. The wood sawdust burning temperatures dynamic models using the stable law are received with help Curve Expert 1.3 program.

Keywords: combustion, wood sawdust, temperature of the combustion