

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Л.А. Кудрявцева, П.М. Мазуркин

ГОУ ВПО «Марийский государственный технический университет», г. Йошкар-Ола

Ключевые слова и фразы: горение; древесные опилки; температура; тление.

Аннотация: Приведены результаты исследования динамики температуры при горении древесных опилок на приборе ОТМ, начиная от 200° С до максимального значения, а затем обратно до 200° С. С помощью программной среды Curve Expert 1.3 получены модели динамики температуры горения опилок во времени с использованием устойчивого закона.

Эффективное и полное сгорание является необходимым условием использования древесины в качестве экологически приемлемого вида топлива. Процесс сгорания должен обеспечивать высокую степень использования энергии и, следовательно, полное уничтожение древесины, и не должен вызывать образование нежелательных в экологическом отношении соединений.

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 [4].

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 ($200 \pm 5^\circ$ С) 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. 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° С определялась временем достижения интуитивного (на основе прошлого опыта предварительных испытаний) ожидаемого максимума, а затем горелку выключали. Для регистрации температуры использовали прибор КСП-4 с диапазоном от 0 до 600° С, а для отсчета времени – секундомер. Отсчеты проводили через каждые 50° С при росте температуры от 200° С до максимального значения, далее при снижении температуры до 200° С. Образец выдерживали в камере до полного остывания 20° С, извлекали и взвешивали, определяя зольный остаток.

Экспериментальные данные подвергали статистической обработке в программной среде Curve Expert 1.3 [3] для получения устойчивых закономерностей.

Сжигание образца с березовыми опилками представлено на рис. 1.

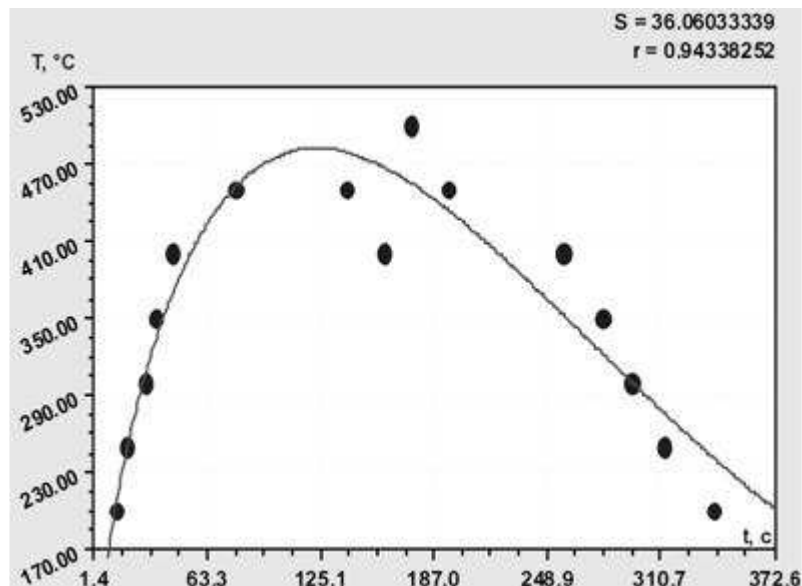


Рис. 1. Изменение температуры горения березовых опилок:
 S – сумма квадратов отклонений; r – коэффициент корреляции

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 $105\text{--}230^{\circ}\text{C}$.

Общеизвестно [2], что с начала горения происходит разложение гемицеллюлозы ($200\text{--}260^{\circ}\text{C}$) и затем, при более высокой температуре, разложение целлюлозы ($240\text{--}350^{\circ}\text{C}$) и лигнина ($280\text{--}500^{\circ}\text{C}$). За время горения при температуре $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$, из-за снижения летучей горючей массы в образце древесины, наступает максимум температуры горения. Остающееся после удаления летучих продуктов пиролиза углистое вещество характеризуется очень высокой пористостью и реакционной способностью.

Только пористые материалы, образующие твердый углистый остаток при нагревании, могут самостоятельно поддерживать тлеющее горение. К таким материалам относится древесина.

Вслед за прекращением пламенного горения начинается тление, которое будет развиваться внутри оставшегося материала. Для зарождения тления основным является требование о наличии источника тепла, который приведет к образованию углистого остатка и началу его окисления. Тление будет продолжаться до тех пор, пока тепло будет сохраняться в области реакционной поверхности, поэтому образец в реакционной камере выдерживали до полного остывания - 20°C . Масса образовавшейся золы составляет $0,2\text{ г}$ или $0,44\%$ первоначальной массы.

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

$$T = 49,1588 t^{0,55728} \exp(-0,00046115 t^{1,40507}), \quad (1)$$

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

Сжигание образца с сосновыми опилками представлено на рис. 2.

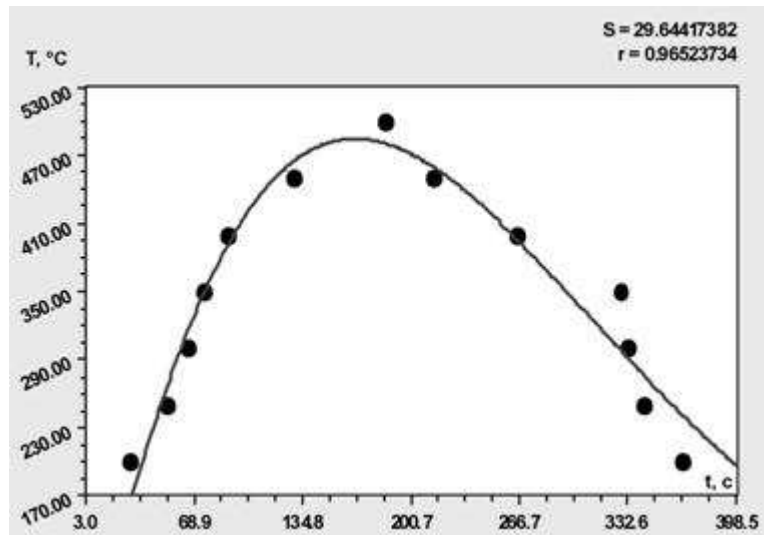


Рис. 2. Изменение температуры горения сосновых опилок

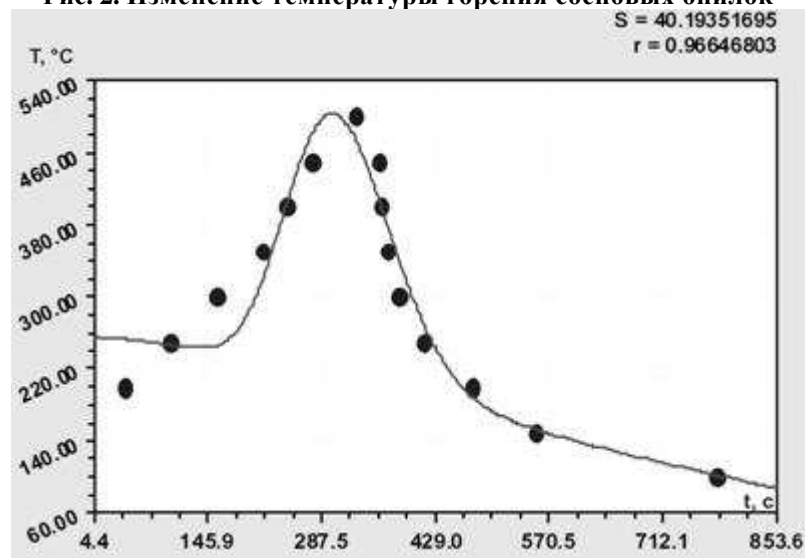


Рис. 3. Изменение температуры горения древесных гранул

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

$$T = 6,04872 t^{1,9754} \exp(-0,00034273 t^{1,9754}). \quad (2)$$

Масса образовавшейся золы составляет 0,45 г или 0,98 % первоначальной массы образца.

Сжигание образца с древесными гранулами представлено на рис. 3.

Максимальная температура отходящих газообразных продуктов горения всех трех образцов составляет 500° С.

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

$$T = 254,84033 \exp(-1,57499 t^{1,64785}) + 9,55228 t^{16,09817} \exp(-0,0076768 t^{1,30128}). \quad (3)$$

Масса образовавшейся золы составляет 0,3 г или 0,65 % первоначальной массы образца. Процесс горения древесных гранул в 1,3 раза дольше по времени, чем горение опилок. Это связано с большими размерами древесных гранул и высокой удельной плотностью 1300–1400 кг/м³, по сравнению с плотностью сосновых (500 кг/м³) и березовых (630 кг/м³) опилок [1].

Таким образом, процесс горения зависит от различных характеристик топлива, в основном, от состава топлива, влажности, содержания летучих компонентов, угля, плотности, пористости, размеров частиц и площади активной поверхности.

Различные виды топливной биомассы в значительной степени отличаются по плотности топливного материала; также имеются значительные различия между твердыми и мягкими породами деревьев. Древесина твердых пород, (например, березы), имеет более высокую плотность, что оказывает воздействие на характеристики горения топлива.

Повышение влажности древесных отходов приводит к уменьшению теплоты сгорания топлива, увеличению объема продуктов сгорания и к снижению температуры горения.

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

1. Головков, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головков, И.Ф. Коперин, В.И. Найденов. – М. : Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
2. Драйздейл, Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К.Г. Бомштейна / Под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М. : Стройиздат, 1990. – 424 с.
3. Мазуркин, П.М. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей : учеб. пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2006. – 292 с.
4. Скрябин, В.И. Теплотехника / В.И. Скрябин. – М. : ВНИИЦ, 2002. – № 50200200706.
5. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 52 с.

© Л.А. Кудрявцева, П.М. Мазуркин, 2009