

УДК 621.3.088

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЗА-
ДЕРЖКИ ЗАЖИГАНИЯ И ВРЕМЕНИ ГОРЕНИЯ**

Никишов Д. С., студент гр. ТЭб-251, I курс

Еремеев Е. А., студент гр. ТЭб-231, III курс

Научный руководитель: Ушаков К. Ю., к.т.н., доцент кафедры теплоэнергети-
ки КузГТУКузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачёва
г. Кемерово

Одними из ключевых характеристик топлива, определяющих его эффективность использования, являются время задержки зажигания и длительность горения. Эти параметры напрямую связаны с кинетикой термохимических процессов, протекающих при нагреве и воспламенении топлива, и оказывают существенное влияние на теплотехнические показатели.

В условиях развития технологии переработки низкосортных топлив и отходов углесодержащего сырья особый интерес представляет исследование влияние активирующих добавок в топливные брикеты, которые способны влиять на механизм горения, снижать температуру воспламенения и повышать калорийность [1]. Подобного рода активаторы представляют собой порошкообразное вещество, которое вводится в состав топлива методом механического смешения. Механическое смешение и малые объёмы вводимого активатора могут приводить к увеличению погрешности экспериментальных исследований.

Целью настоящего исследования является определения погрешности измерения времени задержки зажигания и времени горения топливных брикетов в составе, которого введен добавлен катализатор на основе оксида железа для интенсификации процесса горения. Топливные брикеты изготавливались механическим смешением и последующим прессованием смеси. Смесь состоит из бурого угля, связующего вещества, в качестве которого выступило натриевое жидкое стекло, и катализатора.

Исследование проводилось на специальной установке, представляющей собой муфельную печь, систему подачи образцов в печь, высокоскоростную камеру и персональный компьютер для записи эксперимента. В эксперименте использовались навески, полученные из изготовленной единой партией брикетов массой $0,3 \pm 0,05$ г. В рамках проведенного исследования определялись следующие параметры: $t_{\text{зж}}$ – время задержки зажигания брикета (интервал времени между началом воздействия внешнего источника энергии и моментом начала устойчивого горения); $t_{\text{гор}}$ – время горения брикета. Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1. Результаты статической обработки данных задержки за-
жигания

№ п/п	$t_{\text{зж}}, \text{с}$	$\bar{t}_{\text{зж}} - t_{\text{зж}}$	$(\bar{t}_{\text{зж}} - t_{\text{зж}})^2$
1	4,64	0,02	0,0004
2	4,21	0,44	0,19
3	4,02	0,63	0,40
4	3,73	0,92	0,85
5	4,2	0,46	0,21
6	5,65	-0,98	0,97
7	6,162	1,5	2,25

Таблица 2. Результаты статической обработки данных длительности го-
рения

№ п/п	$t_{\text{гор}}, \text{с}$	$\bar{t}_{\text{гор}} - t_{\text{гор}}$	$(\bar{t}_{\text{гор}} - t_{\text{гор}})^2$
1	3,55	-0,43	0,19
2	3,55	-3,55	12,63
3	2,25	-2,25	5,06

Для определения погрешности времени задержки зажигания и длительности горения были использованы стандартные методы математической статистики [2, 3]. Для обработки результатов были выполнены следующие этапы:

1. Вычисление средних значений ($\bar{t}_{\text{зж}}$ – среднее значение времени зажигания брикета, $\bar{t}_{\text{гор}}$ – среднее значение длительности горения брикета): $\bar{t}_{\text{зж}} = 4,66$, $\bar{t}_{\text{гор}} = 3,12$;

2. Вычисление разности от среднего: для каждого измеренного значения времени были вычислены разности от среднего ($\bar{t}_{\text{зж}} - t_{\text{зж}}$ и $\bar{t}_{\text{гор}} - t_{\text{гор}}$ соответственно) ;

3. Вычисления квадрата разности от среднего ($(\bar{t}_{\text{зж}} - t_{\text{зж}})^2$ и $(\bar{t}_{\text{гор}} - t_{\text{гор}})^2$);

4. Вычисление суммы квадрата разности от среднего по всем измеренным значениям: $(\bar{t}_{\text{зж}} - t_{\text{зж}})^2$, $(\bar{t}_{\text{гор}} - t_{\text{гор}})^2$.

Среднее квадратичное отклонение $S(\bar{t}_{\text{зж}})$ при определении времени задержки зажигания брикета по данным таблицы составляет:

$$S(\bar{t}_{\text{зж}}) = \sqrt{\frac{\sum (\bar{t}_{\text{зж}} - t_{\text{зж}})^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{4,89}{7 \cdot (7 - 1)}} = 0,34$$

Среднее квадратичное отклонение $S(\bar{t}_{\text{гор}})$ при определении времени горения брикета по данным таблицы составляет:

$$S(\bar{t}_{\text{гор}}) = \sqrt{\frac{\sum (\bar{t}_{\text{гор}} - t_{\text{гор}})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{3,12}{3 \cdot (3-1)}} = 0,72$$

где n – количество измерений.

По таблице Стьюдента-Фишера был определен критерий Стьюдента t для числа степени свободы $(n-1)$ с доверительной вероятностью $P = 0,95$, который равен $t_{0,95} = 2,78$.

Отсюда абсолютная ошибка в определении времени задержки зажигания составляет:

$$\Delta t_{\text{зак}} = \pm t_{0,95} \cdot S(\bar{t}_{\text{зак}}) = \pm 2,78 \cdot 0,34 = \pm 0,94$$

Таким образом, $t_{\text{зак}} = (4,66 \pm 0,94)$.

Относительная ошибка при этом составляет:

$$\delta t_{\text{зак}} = \pm \frac{\Delta t_{\text{зак}}}{t_{\text{зак}}} \cdot 100\% = \pm \frac{0,94}{4,66} \cdot 100\% = \pm 20,36 \%$$

Абсолютная ошибка в определении времени горения составляет:

$$\Delta t_{\text{гор}} = \pm t_{0,95} \cdot S(\bar{t}_{\text{гор}}) = \pm 2,78 \cdot 0,72 = \pm 2,00$$

Следовательно, $\varepsilon = (3,12 \pm 2,00)$. Относительная ошибка в этом случае равна:

$$\delta t_{\text{гор}} = \pm \frac{\Delta t_{\text{гор}}}{t_{\text{гор}}} \cdot 100\% = \pm \frac{2,00}{3,12} \cdot 100\% = \pm 23,11 \%$$

Погрешность измерений при определении времени задержки зажигания оказались меньшими в сравнении с погрешностью времени горения, что может быть объяснено большим количеством экспериментальных исследований и сложностью определения завершения горения образцов для данного вида сырья. При этом относительная ошибка в обоих случаях превышает 20%. Основной причиной может являться малое содержание катализатора (1 масс.% или 0,11-0,13 грамм на один брикет), в результате при механическом смешении отдельные участки брикета не взаимодействуют с катализатором и сохраняют свои исходные свойства, что вызывает неоднородность процесса горения отдельных кусков, выделенных из брикета для экспериментальных исследований.

Список литературы:

1. Шуатаев, М. К. Активация процесса горения каменного угля нитратом железа и отходами металлопрокатного производства / М. К. Шуатаев, А. Ж. Калтаев, К. Б. Ларионов // Химия твердого топлива. – 2024. – № 3. – С. 59-66. – DOI 10.31857/S0023117724030085. – EDN NBVCOR.
2. Чарыков А. К. Математическая обработка результатов химического анализа: Учеб. пособие для вузов / А. К. Чарыков. – Л.: Химия, 1984. – 168 с.
3. Еремеев Е. А. Определения погрешности измерения прочности печатных изделий / Е. А. Еремеев, К. Ю. Ушаков // Сборник материалов XVI

всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. – 2024. – URL :
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=73872354>