ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.927— 2016

Государственная система обеспечения единства измерений

ТОПЛИВО ТВЕРДОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ. ВЫСШАЯ И НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Показатели точности

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Техническим комитетом по стандартизации ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 сентября 2016 г. № 1076-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Март 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения и обозначения 4
5 Общие положения 5
6 Показатели точности 5
6.1 Повторяемость 5
6.2 Воспроизводимость 5
Приложение А (обязательное) Описание эксперимента по оценке прецизионности и правильности 7
Приложение Б (обязательное) Оценка прецизионности измерений низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние 9
Библиография 12

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ТОПЛИВО ТВЕРДОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ. ВЫСШАЯ И НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Показатели точности

State system for ensuring the uniformity of measurements.
Solid mineral fuels. Gross and net calorific value. Accuracy parameters

Дата введения — 2017—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на твердое минеральное топливо (бурые и каменные угли, лигниты, антрациты, горючие сланцы, торф, продукты их обогащения и термической обработки, брикеты, кокс, биотопливо) и устанавливает показатели точности для измерений низшей теплоты сгорания на сухое состояние топлива, низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 147 (ISO 1928:2009) Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания

ГОСТ 2408.1 Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода

ГОСТ 10742 Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний

ГОСТ 27313 Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа на различные состояния топлива

ГОСТ Р ИСО 5725-1 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения

ГОСТ Р ИСО 5725-2 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-4 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений

ГОСТ Р ИСО 5725-6 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике

ГОСТ Р 52911 Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с указанием всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

высшая теплота сгорания при постоянном объеме: Количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы твердого топлива в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода в установленных стандартом условиях.

[ГОСТ 147, пункт 3.1]

3.2

низшая теплота сгорания при постоянном давлении: Количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы твердого топлива в среде кислорода при постоянном давлении и при условии, что вся вода, образующаяся при сгорании, остается в виде водяного пара.

Примечание — Кроме воды, находящейся после сжигания топлива в виде водяного пара (при 0,1 МПа), все остальные продукты сгорания — те же, что приведены в определении термина «высшая теплота сгорания при постоянном объеме» (см. примечание 1 к 3.1). При этом все продукты сгорания находятся при стандартной температуре

[ГОСТ 147, пункт 3.4]

3.3

точность: Степень близости результата измерений к принятому опорному значению.

Примечания

1 Общий термин «точность» используют в отношении обоих терминов — «правильность» и «прецизионность».

2 Термин «точность», когда он относится к серии результатов измерений (испытаний), включает сочетание случайных составляющих и общей систематической погрешности [1].

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.6]

3.4

правильность: Степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений (или результатов испытаний), к принятому опорному значению.

Примечания

1 Показателем правильности обычно является значение систематической погрешности.

2 Правильность метода измерений имеет смысл в тех случаях, когда можно прямо или косвенно представить истинное значение измеряемой величины. Хотя для некоторых методов измерений истинное значение не может быть известно точно, существует возможность располагать принятым опорным значением измеряемой величины, например, когда имеются в распоряжении соответствующие стандартные образцы или когда принятое опорное значение может быть установлено посредством ссылки на другой метод измерений, или путем приготовления известного образца. При этом правильность того или иного метода измерений может быть исследована посредством сопоставления принятого опорного значения с уровнем результатов, полученных этим методом.

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.7]

3.5

прецизионность: Степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях.

Примечания

1 Прецизионность зависит только от случайных погрешностей и не имеет отношения к истинному или установленному значению измеряемой величины.

2 Меру прецизионности обычно выражают в терминах неточности и вычисляют как стандартное отклонение результатов измерений. Меньшая прецизионность соответствует большему стандартному отклонению.

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.12]

3.6

повторяемость (сходимость): Прецизионность в условиях повторяемости (сходимости) [1].

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.13]

3.7

условия повторяемости (сходимости): Условия, при которых независимые результаты измерений (или испытаний) получаются одним и тем же методом на идентичных объектах испытаний, в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором, с использованием одного и того же оборудования, в пределах короткого промежутка времени [1].

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.14]

3.8

стандартное (среднее квадратическое) отклонение повторяемости (сходимости): Стандартное (среднее квадратическое) отклонение результатов измерений (или испытаний), полученных в условиях повторяемости (сходимости).

Примечание — Эта норма является мерой рассеяния результатов измерений в условиях повторяемости.

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.15]

3.9

предел повторяемости (сходимости): Значение, которое с доверительной вероятностью 95 % не превышается абсолютной величиной разности между результатами двух измерений (или испытаний), полученными в условиях повторяемости (сходимости).

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.16]

3.10

воспроизводимость: Прецизионность в условиях воспроизводимости [1].

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.17]

3.11

условия воспроизводимости: Условия, при которых результаты измерений (или испытаний) получают одним и тем же методом, на идентичных объектах испытаний, в разных лабораториях, разными операторами, с использованием различного оборудования [1].

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.18]

3.12

стандартное (среднее квадратическое) отклонение воспроизводимости: Стандартное (среднеквадратическое) отклонение результатов измерений (или испытаний), полученных в условиях воспроизводимости.

Примечание — Эта норма является мерой рассеяния результатов измерений (или испытаний) в условиях воспроизводимости.

[ГОСТ 5725-1, пункт 3.19]

3.13

предел воспроизводимости: Значение, которое с доверительной вероятностью 95 % не превышается абсолютной величиной разности между результатами двух измерений (или испытаний), полученными в условиях воспроизводимости.

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.20]

3.14

принятое опорное значение: Значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения и получено как:

a) теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах;

b) приписанное или аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации;

c) согласованное или аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы;

d) математическое ожидание измеряемой характеристики, то есть среднее значение заданной совокупности результатов измерений — лишь в случае, когда a), b) и c) недоступны [1].

[ГОСТ Р ИСО 5725-1, пункт 3.5]

3.15

рабочее состояние топлива (индекс r): Состояние топлива с таким содержанием общей влаги и зольности, с которым оно добывается, отгружается или используется.

[ГОСТ 27313, подпункт 2.2.1]

3.16

сухое состояние топлива (индекс d): Состояние топлива, не содержащего влаги (кроме гидратной).

[ГОСТ 27313, подпункт 2.2.3]

3.17

влажное беззольное состояние топлива (индекс af): Условное состояние топлива, не содержащего золы, с влажностью, равной максимальной влагоемкости.

[ГОСТ 27313, подпункт 2.2.6]

4 Сокращения и обозначения

4.1 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

МЭ — межлабораторный эксперимент;

СИ — средство измерений;

СКО — среднее квадратическое отклонение;

СО — стандартный образец.

4.2 В настоящем стандарте применены следующие обозначения и подстрочные индексы:

4.2.1 Обозначения

A — показатель, используемый для расчета неопределенности оценки;

B — лабораторная составляющая систематической погрешности измерений при реализации конкретного метода — разность между систематической погрешностью лаборатории при реализации конкретного метода измерений (конкретной МВИ) и систематической погрешностью метода измерений;

e — составляющая результата измерений, представляющая случайную погрешность каждого результата измерений;

m — общее среднее значение измеряемой характеристики (уровень);

n — число результатов измерений, полученных в одной лаборатории на одном уровне (т.е. в пределах ячейки — базового элемента);

p — число лабораторий, участвующих в межлабораторном эксперименте;

P — вероятность;

q — число уровней измеряемой характеристики в межлабораторном эксперименте;

r — предел повторяемости (сходимости);

R — предел воспроизводимости;

s — оценка стандартного (среднеквадратического) отклонения;

$\hat{s}$ — прогнозируемое стандартное (среднеквадратическое) отклонение;

T — итог или сумма какого-либо выражения;

y — результат измерений (или результат испытаний);

$\overline{y}$ — среднеарифметическое значение результатов измерений (или результатов испытаний);

$\overline{\overline{y}}$ — общее среднее значение результатов измерений (испытаний);

γ — отношение стандартного отклонения воспроизводимости к стандартному отклонению повторяемости (сходимости);

Δ — систематическая погрешность лаборатории при реализации конкретного стандартного метода измерений (конкретной МИ);

$\hat{\Delta}$ — оценка;

δ — систематическая погрешность метода измерений;

$\hat{\delta}$ — оценка;

μ — истинное или принятое опорное значение измеряемой величины (характеристики);

ν — число степеней свободы;

σ — истинное значение стандартного отклонения.

4.2.2 Подстрочные индексы:

i — идентификатор для конкретной лаборатории;

j — идентификатор для уровня;

k — идентификатор для конкретного результата испытаний в лаборатории i на уровне j;

L — межлабораторный;

W — внутрилабораторный.

5 Общие положения

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-6 сопоставление разностей двух результатов измерений, полученных в условиях повторяемости или воспроизводимости, осуществляют с пределом повторяемости (показатель повторяемости в виде предела повторяемости — r), который рассчитывают по формуле

$$r = Q(P,n)\cdot s_r, \quad (1)$$

где n — число параллельных определений;

$Q(P,n) = 2{,}8$ при $n = 2$, $P = 0{,}95$;

s_r — СКО (дисперсия) повторяемости;

а показатель воспроизводимости в виде предела воспроизводимости — R рассчитывают по формуле

$$R = Q(P,n)\cdot s_R, \quad (2)$$

где $Q(P,n) = 2{,}8$ при $n = 2$, $P = 0{,}95$;

s_R — СКО (дисперсия) воспроизводимости.

В настоящем стандарте значения СКО (дисперсии) повторяемости и воспроизводимости измерений низшей теплоты сгорания на сухое состояние получены из межлабораторного эксперимента, организованного и проанализированного в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1 и ГОСТ Р ИСО 5725-2, статистическая обработка которого приведена в приложении А.

Значения СКО (дисперсии) повторяемости и воспроизводимости измерений низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние в настоящем стандарте получены путем дифференциального анализа расчетных формул измерений, математическая обработка которых приведена в приложении Б.

Описание эксперимента по оценке прецизионности и модель статистического анализа данных эксперимента по оценке прецизионности приведены в приложении А.

Оценка правильности метода измерений низшей теплоты сгорания на сухое состояние выполнена в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-4. Целью эксперимента была оценка значения систематической погрешности метода измерений и установление, является ли она статистически значимой.

Правильность метода измерений оценена путем расчета 95 %-ных доверительных интервалов систематической погрешности метода с использованием модели, приведенной в А.4 приложения А и определения положения этих интервалов относительно нуля. Установлено, что на всех уровнях доверительные интервалы охватывают нулевое значение, из чего сделан вывод, что систематическая погрешность данного метода не является значимой.

6 Показатели точности

Итогом статистической обработки результатов МЭ и применения математического аппарата для анализа уравнений измерений явились показатели прецизионности (повторяемость и воспроизводимость) измерений высшей и низшей теплоты сгорания для различных состояний топлива, приведенные в таблице 1.

6.1 Повторяемость

Результаты двух определений высшей и низшей теплоты сгорания (на сухое состояние топлива), низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние, проведенных в течение короткого промежутка времени в одной лаборатории одним и тем же исполнителем с использованием одной и той же аппаратуры на представительных навесках, отобранных от одной и той же аналитической пробы твердого топлива, не должны отличаться друг от друга более чем на значение, указанное в таблице 1.

6.2 Воспроизводимость

Результаты, каждый из которых представляет собой среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений высшей и низшей теплоты сгорания (на сухое состояние топлива),

низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние, проведенных в двух разных лабораториях на представительных навесках, отобранных от одной и той же пробы на последней стадии ее приготовления, не должны отличаться друг от друга более чем на значение, указанное в таблице 1.

Примечание — Если расхождение между результатами двух определений превышает допускаемые значения, проводят третье определение и за результат принимают среднеарифметическое двух наиболее близких результатов в пределах допускаемых расхождений.

Таблица 1 — Показатели прецизионности на различные состояния топлива

Измеряемая величина	Предел сходимости, r	Предел воспроизводимости, R
Высшая теплота сгорания на сухое состояние (Q_s^d) по ГОСТ 147	120	300
Низшая теплота сгорания на сухое состояние (Q_i^d)	130	350
Низшая теплота сгорания на рабочее состояние (Q_i^r)*	230	650
Высшая теплота сгорания на влажное беззольное состояние (Q_s^{af})** для угля с зольностью:		
До 10 %	270	840
Св. 10 %	640	1370
* При одинаковой общей влаге. ** При одинаковой максимальной влагоемкости.		

Приложение А
(обязательное)

Описание эксперимента по оценке прецизионности и правильности

А.1 Оценка прецизионности измерений низшей теплоты сгорания на сухое состояние

А.1.1 Программа эксперимента по оценке прецизионности

Для оценки показателей прецизионности был проведен сбалансированный эксперимент с однородными уровнями, т.е. использована программа, в которой образцы различных марок углей из q партий, представляющих q различных уровней измеряемой характеристики (раундов МЭ), посылаются в p лабораторий, каждая из которых в условиях повторяемости на каждом из q уровней (раундов МЭ) получила точно n параллельных определений.

А.1.2 Привлечение лабораторий

В эксперименте по оценке прецизионности в межлабораторных испытаниях принимали участие p лабораторий (p = 11), которые провели определение низшей теплоты сгорания в соответствии со стандартизованным методом измерений, приведенным в ГОСТ 147. Каждая лаборатория выполнила по n опытов (n = 4) в условиях повторяемости (сходимости) метода.

А.1.3 Подготовка образцов для эксперимента

Отбор и приготовление образцов проведены в соответствии с ГОСТ 10742.

Проба твердого топлива для определения теплоты сгорания представляла собой аналитическую пробу, измельченную до максимального размера частиц 212 мкм.

А.1.4 Метод измерений

Низшая теплота сгорания отличается от высшей теплоты сгорания, по существу, только тем, что вода, образующаяся при сгорании топлива, не конденсируется, а остается в виде пара и удаляется с дымовыми газами. Значение низшей теплоты сгорания меньше значения высшей на величину теплоты конденсации пара, который образуется из влаги топлива и водорода органической массы, превращающегося при горении в воду. Таким образом, низшую теплоту сгорания аналитической пробы топлива в единицах кДж/кг рассчитывают по формуле

$$Q_i^a = Q_s^a - 24{,}42 \cdot (W^a + 8{,}94 \cdot H^a), \qquad (А.1)$$

где Q_s^a — высшая теплота сгорания аналитической пробы топлива, кДж/кг;

24,42 — теплота парообразования при 25 °С в расчете на 1 % выделившейся воды, кДж/кг;

8,94 — коэффициент пересчета массовой доли водорода на воду;

W^a — массовая доля влаги аналитической пробы, %;

H^a — массовая доля водорода в аналитической пробе, %.

Оценка показателей точности в настоящем стандарте осуществлена для низшей теплоты сгорания на сухое состояние топлива, рассчитанное по формуле

$$Q_i^d = Q_s^d - 24{,}42 \cdot 8{,}94 \cdot H^d, \qquad (А.2)$$

где Q_s^d — высшая теплота сгорания на сухое состояние топлива, кДж/кг;

H^d — массовая доля водорода в сухом топливе, %.

Примечание — Показатели точности для величины низшей теплоты сгорания при постоянном давлении, рассчитанной по ГОСТ 147 (формуле Б.8), не оценивались.

А.2 Общая модель

С целью оценки точности (правильности и прецизионности) метода измерений была принята общая модель, приведенная в разделе 5 ГОСТ Р ИСО 5725-1, предполагающая, что каждый результат измерений, y, представляет собой сумму трех составляющих

$$y = m + B + e, \qquad (А.3)$$

где m — общее среднее значение (математическое ожидание);

B — лабораторная составляющая систематической погрешности в условиях повторяемости;

e — случайная составляющая погрешности каждого результата измерений в условиях повторяемости.

А.3 Модель статистического анализа данных эксперимента по оценке прецизионности

А.3.1 Исходные данные

Результаты измерений представили p лабораторий (p = 11) с номерами i (i = 1, 2, …, p), каждая из которых провела измерения на q уровнях с номерами j (j = 1, 2, …, q), осуществив n (n = 4) параллельных определений на каждом уровне (каждая ij комбинация). В результате было представлено $p \cdot q \cdot n$ результатов измерений.

Для статистического тестирования выбросов применялись два критерия: Критерий Кохрена (для обработки внутрилабораторных расхождений результатов измерений) и критерий Граббса (для обработки межлабораторных расхождений) в соответствии с 7.3.3 и 7.3.4 ГОСТ Р ИСО 5725-2.

А.3.2 Расчет показателей прецизионности (дисперсий)

Дисперсию повторяемости рассчитывают по формуле

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{p}(n_{ij}-1)s_{ij}^2}{\sum_{i=1}^{p}(n_{ij}-1)}. \qquad (A.4)$$

Дисперсию воспроизводимости рассчитывают по формуле

$$s_{Rj}^2 = s_{rj}^2 + s_{Lj}^2 \qquad (A.5)$$

В результате статистической обработки исходных данных были получены следующие результаты:

s_r = 44 кДж/кг;

s_R = 124 кДж/кг.

А.4 Модель статистического анализа данных эксперимента по оценке правильности метода

Целью эксперимента является оценка значения систематической погрешности метода измерений и установление, является ли она статистически значимой.

Оценку систематической погрешности выражают равенством

$$\hat{\delta} = \overline{y} - \mu, \qquad (A.6)$$

где $\hat{\delta}$ — оценка систематической погрешности метода измерений;

$\overline{y}$ — общее среднее значение результатов измерений;

μ — принятое опорное значение измеряемой величины (раунда МЭ).

Правильность метода измерений была оценена путем расчета 95 %-ных доверительных интервалов систематической погрешности метода с использованием соотношения (Б.5) и определения положения этих интервалов относительно нуля

$$\hat{\delta} - A \cdot s_R \le \delta \le \hat{\delta} + A \cdot s_R, \qquad (A.7)$$

где A — неопределенность оценки систематической погрешности метода измерений, которую рассчитывают по формуле

$$A = 1{,}96\sqrt{\frac{n(\gamma^2-1)+1}{\gamma^2 pn}}, \qquad (A.8)$$

где $\gamma = s_R / s_r$ — отношение стандартного отклонения воспроизводимости к стандартному отклонению повторяемости (сходимости), оцененных по формулам А.5 и А.4.

Поскольку по результатам расчета на всех уровнях доверительные интервалы охватывают нулевое значение, было выявлено, что систематическая погрешность данного метода не является значимой.

Приложение Б
(обязательное)

Оценка прецизионности измерений низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние

Б.1 Общие положения

Б.1.1 Для оценки прецизионности измерений низшей теплоты сгорания на рабочее состояние и высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние применен закон накопления (распределения) погрешности

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 s_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 s_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 s_z^2 + \ldots}, \qquad (Б.1)$$

где s_f, s_x, s_y, s_z — СКО функции f, x, y, z, соответственно.

Б.2 Расчет СКО низшей теплоты сгорания на рабочее состояние

Б.2.1 Вывод формулы

В соответствии с ГОСТ 147 низшую теплоту сгорания на рабочее состояние рассчитывают по формуле

$$Q_i^r = Q_s^r - 24{,}42\,(W_t^r + 8{,}94H^r), \qquad (Б.2)$$

где Q_s^r — высшая теплота сгорания на рабочее состояние, кДж/кг;

W_t^r — общая влага рабочего топлива, %;

H^r — массовая доля водорода в рабочем топливе, %.

Применяя закон накопления (распределения) погрешности (формула Б.1), получаем уравнение для расчета СКО

$$s_{Q_i^r} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_i^r}{\partial Q_s^d}\right)^2 \cdot s_{Q_s^d}^2 + \left(\frac{\partial Q_i^r}{\partial W_t^r}\right)^2 \cdot s_{W_t^r}^2 + \left(\frac{\partial Q_i^r}{\partial H^r}\right)^2 \cdot s_{H^r}^2}\,. \qquad (Б.3)$$

Б.2.2 Расчет численного значения СКО

Для расчета численного значения СКО повторяемости использованы значения $S_{Q_s^d}$, $S_{W_t^r}$, S_{H^r}, вычисленные по формуле

$$s_r = \frac{r}{Q(P,n)}, \qquad (Б.4)$$

где n — число параллельных определений;

$Q(P,n) = 2{,}8$ при $n = 2$, $P = 0{,}95$;

r — значения повторяемости для Q_s^d, W_t^r, H^r, указанные в соответствующих стандартах (ГОСТ 147, ГОСТ Р 52911, ГОСТ 2408.1).

Для расчета численного значения СКО воспроизводимости использованы значения $s_{Q_s^d}$, $s_{W_t^r}$, s_{H^r}, вычисленные по формуле

$$s_R = \frac{R}{Q(P,n)}, \qquad (Б.5)$$

где n — число параллельных определений;

$Q(P,n) = 2{,}8$ при $n = 2$, $P = 0{,}95$;

R — значения воспроизводимости для Q_s^d, W_t^r, H^r указанные в соответствующих стандартах (ГОСТ 147, ГОСТ Р 52911, ГОСТ 2408.1).

Вычислив частные производные и подставив значения СКО повторяемости и воспроизводимости Q_s^d, W_t^r, H^r в формулу (Б.3), получим верхнюю оценку СКО повторяемости $s_{Q_i^r}^r$ и СКО воспроизводимости $s_{Q_i^r}^R$ для низшей теплоты сгорания на рабочее состояние:

$s_{Q_i^r}^r = 81$ кДж/кг;

$s_{Q_i^r}^R = 232$ кДж/кг.

Анализ частных производных показывает, что значение СКО зависит непосредственно от числовых значений Q_s^d и W_t^r. В значение СКО вносит постоянный вклад массовая доля водорода в виде слагаемого под корнем,

которое практически не зависит от численного значения H^r. Приведенное выше значение СКО является максимально возможным на всем диапазоне значений Q_s^d и W_t^r. Следует иметь в виду, что для реального угля со средними параметрами высшей теплоты сгорания и рабочей влаги значение СКО повторяемости будет колебаться в пределах 40—60 кДж/кг, а СКО воспроизводимости в пределах 130—170 кДж/кг. Предел сходимости и предел воспроизводимости получены, соответственно, умножением СКО на коэффициент 2,8 (формулы Б.4, Б.5).

Б.2.3 Пример результата расчета показателей точности низшей теплоты сгорания на рабочее состояние

Результаты применения приведенного выше метода расчета сходимости и воспроизводимости для угля марок СС и ТР приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 — Пример результатов расчета сходимости и воспроизводимости измерений низшей теплоты сгорания на рабочее состояние

Марка угля	Высшая теплота сгорания на сухое состояние, Q_s^d, кДж/кг	Рабочая влага, W_t^r, %	Содержание водорода, H^r %	Сходимость, кДж/кг	Воспроизводимость, кДж/кг
СС	26330	7,0	3,8	180	520
ТР	32900	5,0	3,6	210	600

Б.3 Расчет СКО высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние

Б.3.1 Вывод формулы

В соответствии с ГОСТ 27313—95 высшую теплоту сгорания на влажное беззольное состояние рассчитывают по формулам:

$$Q_s^{af} = Q_s^{daf} \cdot \frac{100 - W_{\max}^{af}}{100}; \tag{Б.6}$$

$$W_{\max}^{af} = W_{\max} \cdot \frac{100}{100 - A^r}, \tag{Б.7}$$

где $W_{\max}$ — максимальная влагоемкость, %,

$$Q_s^{daf} = Q_s^d \cdot \frac{100}{100 - A^d}; \tag{Б.8}$$

$$A^r = A^d \cdot \frac{100 - W_{\max}}{100}, \tag{Б.9}$$

где Q_s^d — высшая теплота сгорания на сухое состояние, кДж/кг;

A^d — зольность угля на сухое состояние, %.

Упростив выражения (Б.6, Б.7, Б.8 и Б.9), получим формулу для расчета высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние, зависящую только от тех величин, для которых в стандартах приведены значения повторяемости и воспроизводимости:

$$Q_s^{af} = Q_s^d \cdot \frac{100}{100 - A^d} \cdot \frac{100 - W_{\max} \cdot \dfrac{100}{100 - A^d \cdot \dfrac{100 - W_{\max}}{100}}}{100}. \tag{Б.10}$$

Применив закон накопления (распределения) погрешности (формула Б.1), получим уравнение для расчета СКО

$$s_{Q_s^{af}} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_s^{af}}{\partial Q_s^d}\right)^2 \cdot s_{Q_s^d}^2 + \left(\frac{\partial Q_s^{af}}{\partial W_{\max}}\right)^2 \cdot s_{W_{\max}}^2 + \left(\frac{\partial Q_s^{af}}{\partial A^d}\right)^2 \cdot s_{A^d}^2}. \tag{Б.11}$$

Б.3.2 Расчет численного значения СКО

Для расчета численного значения СКО повторяемости использованы значения $s_{Q_s^d}$, $s_{W_{\max}}$, s_{A^d}, вычисленные по формуле (Б.4).

Для расчета численного значения СКО воспроизводимости использованы значения $s_{Q_s^d}$, $s_{W_{max}}$, s_{A^d}, вычисленные по формуле (В.5).

Вычислив частные производные и подставив значения СКО повторяемости и воспроизводимости Q_s^d, W_{max}, A^d в формулу (Б.11), получим значения СКО повторяемости $s^r_{Q_s^{ar}}$ и СКО воспроизводимости $s^R_{Q_s^{ar}}$ для высшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние:

для угля с зольностью до 10 %:

$s^r_{Q_s^{ar}}$ = 95 кДж/кг;

$s^R_{Q_s^{ar}}$ = 230 кДж/кг;

для угля с зольностью 10 % и более:

$s^r_{Q_s^{ar}}$ = 300 кДж/кг;

$s^R_{Q_s^{ar}}$ = 490 кДж/кг.

Анализ частных производных показывает, что получаемое значение СКО зависит непосредственно от числовых значений Q_s^d, W_{max}, A^d. Приведенное выше значение СКО является максимально возможным на всем диапазоне значений Q_s^d, W_{max} и A^d. Следует иметь в виду, что для реального угля со средними параметрами значение СКО повторяемости будет колебаться в пределах (60—80) кДж/кг (при зольности до 10 %) (130—200) кДж/кг (при зольности 10% и более), а СКО воспроизводимости в пределах (140—210) кДж/кг (при зольности до 10 %), (250—400) кДж/кг (при зольности 10 % и более).

В таблице Б.2 приведены результаты применения приведенного выше метода расчета и вычисленные значения сходимости и воспроизводимости для угля марки СС классов 0-50 и 0-300.

Таблица Б.2 — Пример результатов расчета сходимости и воспроизводимости низшей теплоты сгорания на влажное беззольное состояние

Марка угля	Высшая теплота сгорания на сухое состояние, Q_s^d, кДж/кг	Максимальная влагоемкость, W_{max},%	Зольность на сухое состояние, A^d, %	Содержание водорода, H^r, %	Сходимость, кДж/кг	Воспроизводимость, кДж/кг
СС 0-50	27610	11,3	20,2	3,8	280	620
СС 0-300	26250	8,7	22,7	3,7	300	650

Библиография

[1] ИСО 3534-1:1993* Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Термины, используемые в теории вероятности, и общие статистические термины (Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: Statistical methods — Terms and definitions)

* Заменен на ИСО 3534-1:2006.

УДК 536.6:006.354 ОКС 17.200.10

Ключевые слова: уголь, высшая и низшая теплота сгорания, точность, правильность, прецизионность, межлабораторный эксперимент, среднее квадратическое отклонение

Редактор *Е.И. Мосур*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 11.03.2019. Подписано в печать 20.03.2019 Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,70.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва. Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru