

Топлива жидкие

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ
В КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ БОМБЕ**

Палівы вадкія

**ВЫЗНАЧЭННЕ ЦЕПЛЫНІ ЗГАРАННЯ
Ў КАЛАРЫМЕТРЫЧНАЙ БОМБЕ**

(ASTM D 240-02, IDT)

Издание официальное

БЗ 8-2006



Госстандарт
Минск

Ключевые слова: метод определения в калориметрической бомбе, высшая теплота сгорания, низшая теплота сгорания

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН научно-производственным республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС)

ВНЕСЕН Госстандартом Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 29 августа 2006 г. № 39

3 Настоящий стандарт идентичен стандарту Американского общества по испытаниям и материалам ASTM D 240-02 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (ASTM D 240-02 «Стандартный метод определения теплоты сгорания жидких углеводородных топлив в калориметрической бомбе»).

Стандарт ASTM D разработан Комитетом ASTM D02 по нефтепродуктам и смазочным материалам, прямую ответственность за него несет подкомитет D02.05 по свойствам топлив, нефти, кокса и углеродных материалов.

В стандарт внесено редакционное изменение: наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования стандарта ASTM D с целью применения обобщающего понятия в наименовании стандарта в соответствии с ТКП 1.5-2004(04100).

Перевод с английского языка (en).

Официальный экземпляр стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, имеется в БелГИСС.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Сущность метода.....	2
5 Значение и применение	3
6 Помещение и аппаратура	3
7 Реактивы	3
8 Градуировка	4
9 Проведение испытаний.....	4
10 Расчеты	6
11 Протокол испытаний.....	8
12 Точность и отклонение метода	8
Приложение А (обязательное)	9
Приложение В (справочное) Библиография	13

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Топлива жидкие
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ В КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ БОМБЕПалівы вадкія
ВЫЗНАЧЭННЕ ЦЕПЛЫНІ ЗГАРАННЯ ў КАЛАРЫМЕТРЫЧНАЙ БОМБЕLiquid fuels
Determination of heat of combustion by bomb calorimeter

Дата введения 2007-03-01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает метод определения теплоты сгорания жидких углеводородных топлив, классифицируемых по летучести от легких дистиллятов до остаточных топлив.

1.2 По показателям сходимости и воспроизводимости настоящий метод испытания уступает методу по ASTM D 4809.

1.3 Значения, выраженные в единицах СИ, следует считать стандартными

1.4 Настоящий стандарт не рассматривает всех проблем безопасности, связанных с его применением, если они существуют. Пользователь настоящего стандарта несет ответственность за обеспечение техники безопасности, охрану здоровья человека и определение границ применимости стандарта до начала его применения. Специальные предупреждения приведены в разделах 7, 9, приложении А (А.1.10, А.3).

2 Нормативные ссылки**2.1 Стандарты ASTM:**

ASTM D 129 Метод определения серы в нефтепродуктах (основной метод испытаний в бомбе)¹⁾

ASTM D 1018 Метод определения водорода в нефтяных фракциях¹⁾

ASTM D 1266 Метод определения содержания серы в нефтепродуктах (ламповый метод)¹⁾

ASTM D 2622 Метод определения серы в нефтепродуктах рентгенофлуоресцентной спектрометрией с волновой дисперсией²⁾

ASTM D 3120 Метод определения следовых количеств серы в легких жидких нефтяных углеводородах окислительной микрокулонометрией²⁾

ASTM D 3701 Метод определения содержания водорода в авиационных топливах для турбореактивных двигателей спектрометрией ядерного магнитного резонанса низкого разрешения²⁾

ASTM D 4294 Метод определения содержания серы в нефти и нефтепродуктах рентгенофлуоресцентной спектрометрией с энергетической дисперсией²⁾

ASTM D 4809 Метод определения теплоты сгорания жидких углеводородных топлив в калориметрической бомбе (точный метод)²⁾

ASTM D 5453 Метод определения общей серы в легких углеводородах, моторных топливах и маслах ультрафиолетовой флуоресценцией³⁾

ASTM E 1 Технические условия на термометры ASTM⁴⁾

ASTM E 200 Руководство по приготовлению, стандартизации и хранению стандартных растворов и растворов реактивов для химического анализа⁵⁾

¹⁾ Сборник стандартов ASTM, ежегодный выпуск, том 05.01.

²⁾ Сборник стандартов ASTM, ежегодный выпуск, том 05.02.

³⁾ Сборник стандартов ASTM, ежегодный выпуск, том 05.03.

⁴⁾ Сборник стандартов ASTM, ежегодный выпуск, том 14.03.

⁵⁾ Сборник стандартов ASTM, ежегодный выпуск, том 15.05.

3 Термины и определения

3.1 Определения

3.1.1 высшая теплота сгорания Q_g (gross heat of combustion Q_g), **МДж/кг**: Количество энергии, выделяющееся при сгорании единицы массы топлива при постоянном объеме, когда все продукты являются газообразными, за исключением воды, которая конденсируется.

3.1.1.1 Топливо может быть жидким или твердым и содержать следующие элементы: углерод, водород, азот и серу. Продуктами сгорания в присутствии кислорода в этом случае являются газообразные диоксид углерода, оксиды азота, диоксид серы и вода в жидком состоянии. В данных условиях сгорания начальная температура топлива и кислорода и конечная температура продуктов сгорания составляют 25 °С.

3.1.2 низшая теплота сгорания Q_n (net heat of combustion Q_n), **МДж/кг**: Количество энергии, выделяющееся при сгорании единицы массы топлива при постоянном давлении, когда все продукты, в том числе и вода, являются газообразными.

3.1.2.1 Топливо может быть жидким или твердым и содержать следующие элементы: углерод, водород, азот и серу. Продуктами сгорания в присутствии кислорода являются диоксид углерода, оксиды азота, диоксид серы и вода – все в газообразном состоянии. В данных условиях сгорания начальная температура топлива и кислорода и конечная температура продуктов сгорания составляет 25 °С, сжигание осуществляется при постоянном давлении 0,1012 МПа.

3.1.3 Для перевода в другие единицы измерения (коэффициент перевода является приближительным только для Btu) можно использовать следующие соотношения:

- 1 кал (международная калория) = 4,1868 Дж;
- 1 Btu (Британская тепловая единица) = 1055,06 Дж;
- 1 кал/г = 0,0041868 МДж/кг;
- 1 Btu/фунт = 0,002326 МДж/кг.

3.2 Определения терминов, установленных в настоящем стандарте:

3.2.1 энергетический эквивалент (эффективная теплоемкость, водяной эквивалент) (energy equivalent, effective heat capacity, water equivalent), **МДж/°С**, калориметра: Количество энергии, необходимое для повышения температуры на 1 °С, выраженное в МДж/°С.

$$1 \text{ МДж/кг} = 1000 \text{ Дж/г.} \quad (1)$$

В международной системе единиц СИ единицей измерения теплоты сгорания является Дж/кг, но на практике более удобно использовать кратное значение. Для выражения теплоты сгорания легких топлив обычно используют МДж/кг.

Примечание 1 – Единицей измерения энергии, используемой в настоящем методе испытания, является джоуль. Теплота сгорания выражается в мегаджоулях на килограмм.

3.3 Символы

3.3.1 Низшая теплота сгорания обозначается символом Q_n и связана с высшей теплотой сгорания следующей формулой

$$Q_n \text{ (низшая, 25 °С)} = Q_g \text{ (высшая, 25 °С)} - 0,2122 \cdot H, \quad (2)$$

где Q_n (низшая, 25 °С) – низшая теплота сгорания при постоянном давлении, МДж/кг;

Q_g (высшая, 25 °С) – высшая теплота сгорания при постоянном объеме, МДж/кг;

H – массовая доля водорода в образце, %.⁶⁾

4 Сущность метода

4.1 Теплоту сгорания в методе настоящего стандарта определяют сжиганием навески пробы в кислородной калориметрической бомбе в контролируемых условиях. Теплоту сгорания рассчитывают, используя значения температуры, регистрируемые до, во время и после сжигания пробы, с учетом термодинамических и теплообменных поправок. Могут использоваться как изотермические, так и адиабатические оболочки калориметра.

4.1.1 Температуру измеряют в градусах Цельсия.

⁶⁾ Данные по выводам формул имеются в штаб-квартире ASTM и могут быть получены по запросу RR:D02-1342.

4.1.1.1 Температуру также можно записывать в градусах по шкале Фаренгейта, в омах или других единицах при использовании электрических термометров. Во всех расчетах, в том числе при градуировке, используют одни и те же единицы.

4.1.2 Время в расчетах выражают в минутах в виде десятичной дроби. Также время можно измерять в минутах и секундах.

4.1.3 Массу измеряют в граммах.

5 Значение и применение

5.1 Теплота сгорания – это величина энергии, которая может быть получена из топлива. Знание этой величины имеет важное значение при рассмотрении тепловой эффективности оборудования, используемого для получения энергии или теплоты.

5.2 Теплота сгорания, определяемая по методу настоящего стандарта, является одним из физико-химических показателей авиационных бензинов и топлив промышленного и оборонного назначения.

5.3 Массовая теплота сгорания (теплота сгорания единицы массы топлива) является важнейшим свойством топлив, предназначенных для использования в транспортных средствах с ограниченной массой, например самолетах, наземных транспортных средствах и судах на подводных крыльях. Дальность передвижения таких транспортных средств между заправками горючего непосредственно зависит от теплоты сгорания и плотности топлива.

6 Помещение и аппаратура

6.1 Требования к помещению для проведения испытаний, бомбе, калориметру, оболочке, термометрам и принадлежностям приведены в приложении А, А.1.

7 Реактивы

7.1 Бензойная кислота, стандартный образец.⁷⁾ Перед взвешиванием порошок бензойной кислоты необходимо спрессовать в таблетку. Таблетки бензойной кислоты, теплота сгорания которых определена путем сравнения с образцом Национального бюро стандартов, имеются в продаже и могут быть приобретены лабораториями, при отсутствии в них оборудования для прессования.

7.2 Желатиновые капсулы

7.3 Метилоранж или индикатор метиловый красный

7.4 Минеральное масло

7.5 Кислород. Технический кислород, полученный из жидкого воздуха, можно использовать без очистки. В случае необходимости проведения очистки см. приложение А, А.1.11 (Предупреждение. Кислород ускоряет горение, см. А.3.2).

7.6 Самоклеящаяся лента. Целлофановая лента шириной 38 мм (1½ дюйма), не содержащая хлора и серы.

7.7 Щелочь, стандартный раствор

7.7.1 Раствор гидроксида натрия (концентрации 0,0866 моль/л). Растворяют 3,5 г NaOH в воде и разбавляют до объема 1 л. Раствор стандартизируют с помощью кислого фталата калия до получения концентрации 0,0866 моль/л в соответствии с ASTM E 200 (Предупреждение. Едкое вещество. Может вызвать сильные ожоги или слепоту. При быстром смешении с водой выделяющаяся теплота вызывает интенсивную реакцию или выброс смеси, см. приложение А, А.3.1.).

7.7.2 Раствор карбоната натрия (концентрации 0,03625 моль/л). Растворяют 3,84 г Na₂CO₃ в воде и разбавляют до объема 1 л. Раствор стандартизируют с помощью кислого фталата калия до получения концентрации 0,03625 моль/л в соответствии с ASTM E 200.

7.8 2,2,4-Триметилпентан (изооктан), стандартный образец.⁸⁾ (Предупреждение. Легковоспламеняющаяся жидкость. Вдыхание паров вредно. Пары могут вспыхнуть, см. приложение А, А.3.3).

⁷⁾ Можно получить в Национальном институте стандартов и технологий, Gaithersburg, MD 20899 по запросу стандартного образца № 39.

⁸⁾ Можно получить в Национальном институте стандартов и технологий, Gaithersburg, MD 20899 по запросу стандартного образца № 217b.

8 Градуировка

8.1 Определение энергетического эквивалента калориметра. Усредняют значения не менее шести определений, проводимых с использованием стандартной бензойной кислоты.⁹⁾ Эти определения должны проводиться в течение не менее трех дней. Используют не менее 0,9 г и не более 1,1 г стандартной бензойной кислоты (C_6H_6COOH). Каждое определение осуществляют в соответствии с разделом 9 и рассчитывают исправленный подъем температуры t в соответствии с 10.1 или 10.2. Определяют поправки для азотной кислоты (HNO_3) и запальной проволоки в соответствии с 10.3 и подставляют в следующую формулу

$$W = (Q \cdot g + e_1 + e_2)/t, \quad (3)$$

где W – энергетический эквивалент калориметра, МДж/°С;
 Q – теплота сгорания стандартной бензойной кислоты, МДж/г, рассчитанная с использованием справочных значений;
 g – масса навески стандартной бензойной кислоты, г;
 t – исправленный подъем температуры, рассчитанный в соответствии с 10.1 или 10.2, °С;
 e_1 – поправка на теплоту образования азотной кислоты, МДж;
 e_2 – поправка на теплоту сгорания запальной проволоки, МДж.

8.1.1 Градуировку осуществляют повторно после замены деталей калориметра и периодически для проверки функционирования калориметра и методики испытания.

8.2 Проверка калориметра, предназначенного для проведения испытаний летучих топлив. Используют 2,2,4-триметилпентан для определения согласуются ли полученные результаты с установленным значением (47,788 МДж/кг, взвешивание проводят на воздухе) в пределах сходимости метода испытания. Если результаты проверки не попадают в указанный диапазон, то возможно, потребуется изменить технику обращения с испытуемой пробой (А.1.8). Если это невозможно или не устраняет ошибку, проводят ряд определений с использованием 2,2,4-триметилпентана для установления энергетического эквивалента, значение которого используется при испытаниях летучих топлив.

8.3 Теплота сгорания самоклеящейся ленты или желатина (при необходимости, с добавлением минерального масла). Определяют теплоту сгорания самоклеящейся ленты или желатиновой капсулы (при необходимости, с добавлением минерального масла) в соответствии с разделом 9, используя около 1,2 г ленты или 0,5 г желатиновой капсулы (при необходимости, с добавлением минерального масла) без пробы. Проводят не менее трех определений и вычисляют теплоту сгорания по формуле

$$Q_{pst} = (\Delta t \cdot W - e_1)/1000 \cdot a, \quad (4)$$

где Q_{pst} – теплота сгорания самоклеящейся ленты или желатиновой капсулы (при необходимости, с добавлением минерального масла), МДж/кг;

Δt – исправленный подъем температуры, рассчитанный в соответствии с 10.1 или 10.2, °С;
 W – энергетический эквивалент калориметра, МДж/°С;
 e_1 – поправка на теплоту образования HNO_3 , МДж;
 a – масса самоклеящейся ленты или желатиновой капсулы (при необходимости, с добавлением минерального масла), г.

Находят среднее значение результатов всех определений. Определение теплоты сгорания проводят каждый раз при использовании ленты или желатиновой капсулы (минерального масла) из новой партии, а также нового рулона ленты.

9 Проведение испытаний

9.1 Взвешивание пробы. Массу навески пробы выбирают таким образом, чтобы увеличение температуры в результате ее сгорания было равно увеличению температуры при сгорании 0,9 – 1,1 г бензойной кислоты (примечание 2). Пробу взвешивают с точностью до 0,1 мг.

Примечание 2 – Если известно приблизительное значение теплоты сгорания пробы, то необходимую массу пробы можно определить следующим образом:

$$g = 26,454/Q_s, \quad (5)$$

где g – масса пробы, г;
 Q_s – теплота сгорания пробы, МДж/кг.

⁹⁾ См. Jessup, R. S., «Точное измерение теплоты сгорания в калориметрической бомбе», монография 7 Национального бюро стандартов, издательство правительства США.

Некоторые топлива содержат воду и механические примеси (золу), что приводит к заниженным калориметрическим значениям. Если необходимо определить теплоту сгорания чистого топлива, то для удаления воды и нерастворимой золы перед проведением испытания пробу фильтруют.

9.1.1 Для высоколетучих жидкостей с целью уменьшения потерь используют самоклеящуюся ленту или желатиновую капсулу (при необходимости, с добавлением минерального масла).

Примечание 3 – Рекомендуемые технические приемы при обращении с летучими жидкостями приведены в отчетах, указанных в библиографии настоящего стандарта. В [1] – [6] описаны стеклянные контейнеры для пробы, в [7] описан металлический контейнер для пробы, в [8] – желатиновый контейнер для пробы.

9.1.2 Пленка. Кусочек самоклеящейся пленки помещают на верхнюю часть тигля, обрезают выступающие края лезвием и плотно прижимают пленку к тиглю. Полоску пленки длиной 12 мм и шириной 3 мм сгибают пополам и одну половину полоски приклеивают к центру пленки тигля, при этом вторая половина полоски остается незакрепленной. Взвешивают тигель с пленкой. Щипцами снимают с весов. Заполняют шприц пробой. Объем пробы можно определить по формуле

$$V = (W \cdot 0,00032)/(Q \cdot D), \quad (6)$$

где V – объем используемой пробы, мл;

W – энергетический эквивалент калориметра, Дж/°С;

Q – приблизительная теплота сгорания, МДж/кг;

D – плотность пробы, кг/м³.

9.1.2.1 Шприцем вводят пробу в тигель, прокалывая кончиком иглы пленку тигля в такой точке, чтобы вторая половина полоски закрывала прокол после удаления иглы. Заклеивают прокол, плотно прижимая полоску металлическим шпателем. Повторно взвешивают тигель с пленкой и пробой. Взвешивание и ввод пробы в тигель осуществляют осторожно, избегая контакта пленки или тигля с незащищенными пальцами. Помещают тигель в изогнутый электрод и располагают запальную проволоку таким образом, чтобы центральная часть петли была прижата к центру пленки тигля.

9.1.3 Желатин (при необходимости, с добавлением минерального масла). Взвешивают тигель с желатиновой капсулой. С капсулой следует обращаться только с помощью щипцов. Вводят пробу в капсулу. Повторно взвешивают тигель с капсулой и пробой. Если существует вероятность неполного сгорания капсулы, на капсулу наносят несколько капель минерального масла и снова взвешивают тигель вместе с его содержимым. Помещают тигель на изогнутый электрод и регулируют положение запальной проволоки таким образом, чтобы центральная часть петли соприкасалась с капсулой и маслом.

9.2 Вода в бомбе. С помощью пипетки в бомбу вводят 1,0 мл воды.

9.3 Кислород. Бомбу с испытуемой пробой и запальной проволокой медленно наполняют кислородом до манометрического давления 3,0 МПа (30 атм) при комнатной температуре (9.3.1). Не следует продувать бомбу для удаления из нее воздуха (Предупреждение. Необходимо внимательно следить за тем, чтобы не произошло перенаполнение бомбы. Если давление кислорода, введенного в бомбу, превысит 4,0 МПа, сжигание пробы не проводят. Может произойти взрыв, сопровождающийся разрушением бомбы. Удаляют соединительное устройство для наполнения и разряжают бомбу обычным образом. Извлекают пробу без потери ее массы, которую проверяют повторным взвешиванием.

9.3.1 Бомбу можно наполнять кислородом до более низкого или высокого значения начального давления в пределах диапазона от 2,5 до 3,5 МПа при условии, что данное давление используется во всех испытаниях, включая градуировку.

9.4 Калориметрическая вода. Температуру воды перед взвешиванием доводят до следующих значений при испытании в:

– изотермической оболочке – на 1,6 – 2,0 °С ниже температуры изотермической оболочки;

– адиабатической оболочке – на 1,0 – 1,4 °С ниже комнатной температуры.

Установка такой начальной температуры обеспечивает небольшое превышение конечной температуры над температурой оболочки при использовании калориметров с энергетическим эквивалентом, составляющим приблизительно 10,2 кДж/°С. Некоторые операторы предпочитают устанавливать более низкое значение начальной температуры, чтобы конечная температура была немного ниже температуры оболочки. Установка такой температуры приемлема при условии, что ее осуществляют во всех испытаниях, включая градуировку.

9.4.1 В каждом испытании в калориметрическом сосуде используют одинаковое количество ($\pm 0,5$ г) дистиллированной или деионизированной воды. Количество воды (обычно 2000 г) наиболее точно можно определить путем взвешивания на весах калориметрического сосуда вместе с водой. Количество воды можно измерять по объему, если все измерения проводить при одной температуре.

9.5 Проведение испытания в изотермической оболочке. Калориметр устанавливают в изотермическую оболочку и включают перемешивание. Перемешивание осуществляют в течение 5 мин до достижения равновесия, затем в течение 5 минут считывают показания температуры калориметра с интервалом в 1 мин (примечание 4). В начале шестой минуты зажигают пробу и записывают время и температуру t_a . Записывают время, при котором достигается увеличение данной температуры на 60 % от значения ожидаемого подъема температуры (примечание 5). После периода быстрого подъема (около 4 – 5 мин) считывают показания температуры с интервалом в 1 мин до тех пор, пока разница между последовательными показаниями не будет постоянной в течение 5 мин.

Примечание 4 – Считывание всех показаний (за исключением показаний во время периода быстрого подъема температуры) осуществляют с помощью увеличительного оптического устройства с точностью до 0,002 °С в случае использования термометра 56С ASTM для калориметрической бомбы. При использовании термометра Бекмана показания снимают с точностью до 0,001 °С, а при определении с помощью термометра сопротивления 25 Ом – с точностью до 0,0001 Ом. Непосредственно перед снятием показаний следует постучать карандашиком по стенкам ртутных термометров для избежания ошибок, связанных с прилипанием ртути к стенкам капилляра.

Примечание 5 – Если приблизительное значение подъема температуры неизвестно, то время, при котором температура достигнет 60 % от общего значения подъема температуры, можно определить интерполяцией значений температуры через 45, 60, 75, 90 и 105 с после зажигания.

9.6 Проведение испытания в адиабатической оболочке (примечание 6). Калориметр устанавливают в адиабатическую оболочку и включают перемешивание. Устанавливают значение температуры, равное или немного меньшее температуры калориметра, и осуществляют перемешивание при данной температуре в течение 5 мин до достижения равновесия. Регулируют температуру оболочки так, чтобы она отличалась от температуры калориметра не более $\pm 0,01$ °С и выдерживают оболочку при данной температуре в течение 3 мин. Записывают значение начальной температуры и зажигают пробу. Температуру оболочки во время периода подъема регулируют таким образом, чтобы она соответствовала температуре калориметра. Значения данных температур по возможности поддерживают так, чтобы они были равны во время быстрого подъема и отличались не более $\pm 0,01$ °С при достижении конечной равновесной температуры. Снимают показания температуры калориметра с интервалом в 1 мин до тех пор, пока температура трех последовательных показаний не будет одинаковой. Записывают эту температуру в качестве конечной температуры. Временные интервалы не записывают, так как они не имеют большого значения при испытании в адиабатическом методе.

Примечание 6 – Данные указания следует использовать вместо указаний, приведенных в 9.5, в том случае, если используемая оболочка сконструирована для контроля температуры в адиабатических условиях.

9.7 Анализ содержимого бомбы. Извлекают бомбу и сбрасывают давление с постоянной скоростью, время выполнения данной операции при этом должно быть не менее 1 мин. Проверяют полноту сгорания пробы, осматривая внутреннее содержимое бомбы. Если обнаруживают несгоревшую пробу или отложения сажи, результаты испытания во внимание не принимают.

9.7.1 Бомбу, включая электроды и контейнер для пробы, промывают струей чистой воды и промывные воды количественно переносят в лабораторный стакан. Используют минимальное количество воды, желательное не превышающее 350 мл. Титруют промывные воды стандартным щелочным раствором с использованием индикатора метилоранжа или индикатора метилового красного.

9.7.2 Удаляют кусочки несгоревшей запальной проволоки, измеряют их общую длину и вычитают ее из первоначальной длины. Разницу записывают как длину израсходованной проволоки.

9.7.3 Содержание серы в пробе определяют, если оно превышает 0,1 %. Определение проводят путем анализа промывных вод бомбы после кислотного титрования по методам ASTM D 129, ASTM D 1266, ASTM D 2622, ASTM D 3120, ASTM D 4294 или ASTM D 5453.

10 Расчеты

10.1 Подъем температуры в калориметре с изотермической оболочкой. Используя данные, полученные в соответствии с 9.5, рассчитывают исправленный подъем температуры t в калориметре с изотермической оболочкой по формуле

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b), \quad (7)$$

где t – исправленный подъем температуры;

a – время зажигания;

b – время (с точностью до 0,1 мин) достижения 60 % от общего подъема температуры;

c – время начального периода, когда скорость изменения температуры становится постоянной (после сжигания);

t_a – температура в момент зажигания с учетом погрешности термометра (10.1.1);

t_c – температура, регистрируемая во время горения, с учетом погрешности термометра (10.1.1);

r_1 – скорость (единицы температуры в минуту), с которой происходит повышение температуры в течение 5-минутного периода перед зажиганием;

r_2 – скорость (единицы температуры в минуту), с которой происходит повышение температуры в течение 5-минутного периода после наступления времени c . Если температура понижается, r_2 имеет отрицательное значение и величина $-r_2(c - b)$ является положительной.

10.1.1 Для стеклянных ртутных термометров необходимо вводить поправку для учета погрешности, связанной с делением шкалы, используя данные сертификата на термометры, приведенные в А.1, А.1.5.1 или А.1.5.2. В случае использования термометров Бекмана также необходимо введение поправки на выступающий столбик ртути (см. А.2, А.2.1, А.2.1.12). Палочные термометры 56F и 56C ASTM не требуют введения поправки на выступающий столбик ртути, если все испытания, включая градуировку, проводятся при температурах, значения которых различаются не более чем на 5,5 °С. Если температуры не попадают в данный интервал, то применяют поправку на выступающий столбик ртути (см. А.2, А.2.1) для расчета исправленного подъема температуры t во всех испытаниях, включая градуировку.

10.2 Подъем температуры в калориметре с адиабатической оболочкой. Используя данные, полученные в соответствии с 9.6, рассчитывают исправленный подъем температуры t в калориметре с адиабатической оболочкой по формуле

$$t = t_f - t_a, \quad (8)$$

где t – исправленный подъем температуры;

t_a – температура в момент зажигания с учетом погрешности термометра (10.1.1);

t_f – конечная равновесная температура с учетом погрешности термометра (10.1.1).

10.3 Термохимические поправки (см. приложение А.2). В каждом испытании рассчитывают значения следующих поправок:

e_1 (поправка на теплоту образования азотной кислоты (HNO_3), МДж = объем стандартного (концентрации 0,0866 N) раствора NaOH, см³, израсходованный на титрование, $\times 5/10^6$;

e_2 (поправка на теплоту образования серной кислоты (H_2SO_4), МДж = 58,0 \times массовую долю серы в пробе, %, \times массу навески/ 10^6 ;

e_3 (поправка на теплоту сгорания запальной проволоки), МДж = 1,13 \times миллиметров израсходованной стальной проволоки/ 10^6 = 0,96 \times миллиметров израсходованной проволоки из хромеля С/ 10^6 ;

e_4 (поправка на теплоту сгорания самоклеящейся ленты или желатиновой капсулы и минерального масла), МДж = масса ленты или капсулы с маслом, г \times теплоту сгорания ленты или капсулы с маслом, МДж/кг/ 10^6 .

10.4 Высшая теплота сгорания. Высшую теплоту сгорания рассчитывают, используя вышеуказанные значения в формуле

$$Q_g = (tW - e_1 - e_2 - e_3 - e_4)/1000g, \quad (9)$$

где Q_g – высшая теплота сгорания при постоянном объеме, МДж/кг;

t – исправленный подъем температуры (10.1 или 10.2), °С;

W – энергетический эквивалент калориметра, МДж/°С (8.1);

e_1, e_2, e_3, e_4 – поправки в соответствии с 10.3;

g – масса пробы, г.

Примечание 7 – Высшую теплоту сгорания при постоянном давлении можно рассчитать по формуле

$$Q_{gp} = Q_g + 0,006145 H, \quad (10)$$

где Q_{gp} – высшая теплота сгорания при постоянном давлении, МДж/кг;

H – массовая доля водорода, %.

10.5 Низшая теплота сгорания.

10.5.1 Если известна массовая доля, %, водорода (H) в пробе, то низшую теплоту сгорания можно рассчитать по формуле

$$Q_n = Q_g - 0,2122 \times H, \quad (11)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания при постоянном давлении, МДж/кг;

Q_g – высшая теплота сгорания при постоянном объеме, МДж/кг;

H – массовая доля водорода в пробе, %.

Если массовая доля водорода неизвестна, содержание водорода определяют по ASTM D 1018 или ASTM D 3701.

10.5.2 Если массовая доля водорода, %, в пробах авиационного бензина и топлива для турбореактивных двигателей неизвестна, то низшую теплоту сгорания можно рассчитать по формуле

$$Q_n = 10,025 + (0,7195) Q_g, \quad (12)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания при постоянном давлении, МДж/кг;

Q_g – высшая теплота сгорания при постоянном объеме, МДж/кг.

Примечание 8 – Формулу (12) рекомендуется использовать только в том случае, если массовая доля водорода в процентах неизвестна. Данная формула выведена из формулы (11) и базируется на эмпирическом соотношении между Q_n и массовой долей водорода в процентах в авиационных бензинах и топливах для турбореактивных двигателей, полученных на основе данных Джессапа и Крэйгоса (Jessup and Cragos)¹⁰⁾.

11 Протокол испытаний

11.1 Низшая теплота сгорания – это показатель, необходимый при практическом применении топлива. Низшую теплоту сгорания записывают в протокол с точностью до 0,005 МДж/кг.

Примечание 9 – Для нефтяных топлив вместо низшей теплоты сгорания обычно записывают высшую теплоту сгорания с точностью 0,005 МДж/кг.

11.2 Чтобы выразить высшую или низшую теплоту сгорания в калориях на грамм или Btu на фунт, значение в МДж/кг делят на соответствующий коэффициент перевода и записывают полученный результат с точностью до 0,5 кал/г или 1 Btu/фунт.

$$Q_{\text{Btu/фунт}} = (Q, \text{ МДж/кг})/0,002326. \quad (13)$$

$$Q_{\text{кал/г}} = (Q, \text{ МДж/кг})/0,0041868. \quad (14)$$

12 Точность и отклонение метода¹¹⁾

12.1 Точность

Точность метода, полученная в результате статистической обработки результатов межлабораторных испытаний, приведена ниже.

12.1.1 Сходимость (повторяемость)

Расхождение между двумя последовательными результатами испытания, полученными одним и тем же оператором при работе на одном и том же оборудовании при одинаковых условиях на идентичном испытуемом продукте в течение длительного промежутка времени при правильном выполнении метода, только в одном случае из двадцати может превысить 0,13 МДж/кг.

12.1.2 Воспроизводимость

Расхождение между двумя отдельными и независимыми результатами испытаний, полученными разными операторами в разных лабораториях на идентичном испытуемом продукте в течение длительного промежутка времени при правильном выполнении метода, только в одном случае из двадцати может превысить 0,40 МДж/кг.

12.2 Отклонение

Для настоящего метода испытания отклонение не определено из-за отсутствия для сравнения утвержденного стандартного образца (в диапазоне предполагаемых значений при использовании метода).

¹⁰⁾ Jessup, R.S., Cragos, C.S., «Net Heat of Combustion of AN-F-28 Aviation Gasoline» (Низшая теплота сгорания авиационного бензина AN-F-28», Национальный консультативный комитет по авиации, Техническая записка № 996, июнь 1945; Joseph F. Cogliano and Ralph S. Jessup, «Relation between Net Heat of Combustion and Aniline-Gravity Product of Aircraft Fuels» (Соотношения между низшей теплотой сгорания и анилиновой точкой для авиационных топлив», Отчет № 2348 Национального института стандартов и технологий, март 1953.

¹¹⁾ Результаты совместных испытаний, на основе которых рассчитаны значения сходимости и воспроизводимости, были опубликованы в виде приложения XII к Отчету № 1957 Комитета D02 по нефтепродуктам и смазочным маслам. Результаты испытаний также публиковались с 1958 по 1966 (включительно) в виде приложения III к ASTM D 240. Подтверждающие данные хранятся в штаб-квартире ASTM International и могут быть получены по запросу RR: D02-38.

Приложение А (обязательное)

А.1 Аппаратура для испытания теплоты сгорания

А.1.1 Испытательная комната. В комнате, в которой проводят испытание с использованием калориметра, должны отсутствовать сквозняки и резкие изменения температуры. Оболочка калориметра и термометры должны быть защищены от воздействия прямых солнечных лучей. В помещении должны быть обеспечены соответствующие освещение, температура и вентиляция. Рекомендуется осуществлять термостатическое регулирование комнатной температуры и контроль относительной влажности.

А.1.2 Кислородная бомба. Внутренний объем кислородной бомбы должен составлять (350 ± 50) мл. Все ее детали должны быть изготовлены из материалов, которые не поглощают измеряемую теплоту и не влияют на конечные продукты сгорания. Если бомба покрыта платиной или золотом, то все отверстия должны быть герметизированы для предотвращения попадания продуктов сгорания на основной металл бомбы. Конструкция бомбы должна обеспечивать полное извлечение всех жидких продуктов сгорания с внутренних поверхностей. Во время испытания не должно происходить утечки газа. Бомба должна выдерживать испытание на гидростатическое давление при манометрическом давлении 20 МПа (3000 psi) при комнатной температуре без потери упругости ее деталями.

А.1.3 Калориметр. Калориметрический сосуд (см. примечание А.1.1) должен быть изготовлен из металла (предпочтительно меди или латуни) и иметь покрытие, устойчивое к потускнению, и гладко отполированную внешнюю поверхность. Размер сосуда должен обеспечивать полное погружение бомбы в воду при сборке калориметра. Сосуд должен быть оснащен устройством, обеспечивающим тщательное перемешивание воды с постоянной скоростью и минимальным подводом тепла. Увеличение температуры калориметра при перемешивании в течение 10 мин после уравнивания температур калориметра, оболочки и в комнате должно быть не более $0,01$ °С. Погружаемая в воду часть мешалки должна быть соединена с наружной частью устройства с помощью материала с низкой теплопроводностью.

Примечание А.1.1 – Калориметр, применяемый в настоящем стандарте, состоит из бомбы, сосуда с мешалкой и воды, в которую погружают бомбу.

А.1.4 Оболочка. Калориметр должен быть полностью заключен в оболочку с перемешиваемой водой, и его положение должно поддерживаться таким образом, чтобы боковые стороны, нижняя и верхняя части были удалены от стенок оболочки приблизительно на 10 мм. Оболочка должна быть установлена так, чтобы ее температура сохранялась постоянной и обеспечивалась быстрая регулировка температуры оболочки для уравнивания с температурой калориметра в адиабатическом режиме. Оболочка должна быть сконструирована таким образом, чтобы испаряющаяся из оболочки вода, не конденсировалась на калориметре.¹³⁾

А.1.4.1 Если испытание проводят в комнате с постоянной температурой (± 1 °С (± 2 °F)) изотермическая водяная оболочка может быть заменена на оболочку с двойными стенками, пространство между которыми заполнено воздухом с высоким содержанием диоксида углерода. Внешние условия должны быть одинаковыми для всех испытаний, включая градуировку.

А.1.5 Термометры. Температуру калориметра и оболочки измеряют с помощью термометра или набора термометров, приведенных ниже.

А.1.5.1 Палочные стеклянные ртутные термометры для калориметрической бомбы ASTM с диапазоном измерения от 66 °F до 95 °F, от 19 °С до 35 °С, от 18,9 °С до 25,1 °С, от 23,9 °С до 30,1 °С, соответствующие техническими требованиям, установленным для термометров 56F, 56C, 116C или 117C в ASTM E 1. Погрешность каждого из этих термометров должна быть проверена вдоль всей шкалы с интервалом не более 2,0 °С или 2,5 °F. Поправку для каждой точки испытания записывают с точностью до 0,002 °С или 0,005 °F соответственно.

А.1.5.2 Дифференциальные термометры Бекмана с величиной диапазона шкалы 6 °С от нижнего значения, соответствующие требованиям, установленным для термометра 115C в ASTM E 1. Погрешность каждого из этих термометров должна быть проверена вдоль всей шкалы с интервалом не более 1 °С. Поправку для каждой точки испытания записывают с точностью до 0,001 °С.

¹³⁾ Единственным поставщиком аппаратуры, известным комитету в настоящее время, является Parr Instrument Co., 211 Fifty-Third St., Moline, IL 61265. Если известны другие поставщики, можно предоставить данную информацию в штаб-квартиру ASTM. Эта информация будет внимательно рассмотрена на заседании ответственного технического комитета, на котором можно присутствовать.

А.1.5.3 Платиновый термометр сопротивления калориметрического типа, 25 Ом.

А.1.6 Дополнительные приспособления для термометров. Для считывания показаний ртутных стеклянных термометров с точностью до одной десятой наименьшего деления шкалы требуется увеличительное стекло. Данное приспособление должно состоять из линзы и держателя, сконструированного таким образом, чтобы внесение ошибок, обусловленных параллаксом, было незначительным.

А.1.6.1 Мост Уитстона и гальванометр, обеспечивающие измерение сопротивления 0,0001 Ом, необходим при использовании термометров сопротивления.

А.1.7 Датчик времени. При проведении испытания с использованием калориметра с изотермической оболочкой необходимы часы или другое устройство для контроля времени с точностью до 1 с.

А.1.8 Контейнер для пробы. Нелетучие пробы следует сжигать в открытом тигле из платины (предпочтительнее), кварца или соответствующего сплава благородных металлов. Тигли из сплава благородных металлов используют в том случае, если после нескольких предварительных сжиганий их масса изменяется незначительно.

А.1.9 Запальная проволока. Используют стальную проволоку № 34 В & S или проволоку высокого сопротивления из хромеля С длиной 100 мм. Можно использовать более короткую проволоку, если во всех испытаниях, включая градуировочные, используется проволока одной и той же длины. Платиновая проволока может использоваться в случае, если величина энергии зажигания небольшая и воспроизводимая.

А.1.10 Цепь зажигания. Для зажигания требуется переменный или постоянный ток с напряжением от 6 до 16 В, а также наличие в цепи амперметра или сигнальной лампочки для индикации прохождения тока. Для питания цепи зажигания аккумуляторных батарей можно использовать понижающий трансформатор, подключенный к электрической цепи напряжением 115 В и частотой 50 – 60 Гц (Предупреждение. Прерыватель цепи зажигания должен быть мгновенного действия с нормально разомкнутым контактом, за исключением тех случаев, когда оператор удерживает его в замкнутом положении).

А.1.11 Устройство для очистки кислорода. Промышленный кислород, получаемый из жидкого воздуха, как правило, можно использовать без очистки. Не допускается применять кислород, полученный методом электролиза воды без предварительной очистки, поскольку он может содержать водород в количестве, достаточном для изменения результатов на 1 % и более. Горючие примеси можно удалить из кислорода путем пропускания его над оксидом меди (CuO) при температуре 500 °С.

А.2 Поправки

А.2.1 Поправки на показания термометра¹⁴⁾

А.2.1.1 Поправку на выступающий столбик ртути палочных калориметрических термометров (56F и 56C) можно рассчитать по следующей формуле

$$\text{поправка на выступающий столбик} = K (t_c - t_a) (t_a + t_c - L - T), \quad (\text{A.2.1})$$

где K – коэффициент расширения ртути в стекле, равный 0,00016 для термометров со шкалой Цельсия или 0,00009 для термометров со шкалой Фаренгейта;

L – деление шкалы, до которого погружен термометр;

T – среднее значение температуры выступающего столбика ртути;

t_a – показание начальной температуры;

t_c – показание конечной температуры.

А.2.1.2 Поправка выступающего столбика ртути для термометра Бекмана, погруженного до нулевого деления шкалы, может быть рассчитана по формуле

$$\text{поправка на выступающий столбик} = K (t_c - t_a) (S + t_c + t_a - T), \quad (\text{A.2.2})$$

где S – установочное значение термометра (значение температуры в нулевой отметке).

А.2.1.3 Поправка на установку для термометра Бекмана может быть рассчитана по формуле

$$\text{поправка на установку} = \text{коэффициент} \times (t_c - t_a), \quad (\text{A.2.3})$$

где коэффициент – коэффициент из таблицы А.2.1.

¹⁴⁾ Подробные обсуждения этих поправок см. в сборнике статей Американского института физики «Температура, ее измерение и контроль в науке и промышленности», Reishold Publishing Corp., New York, NY, 1941

Таблица А.2.1 – Поправочные коэффициенты

Установочное значение	Коэффициент
15	– 0,0015
20	0,0000
25	+ 0,0015
30	+ 0,0029
35	+ 0,0043
40	+ 0,0056

А.2.2 Термохимические поправки

А.2.2.1 Теплота образования азотной кислоты. На каждый кубический сантиметр стандартного раствора NaOH (концентрации 0,0866 моль/л), израсходованного при титровании кислоты, вводится поправка в 5 Дж. Величина данной поправки получена, исходя из предположения, что титруемой кислотой является только HNO₃ и теплота образования 0,1 М раствора HNO₃ в условиях испытания составляет 57,8 кДж/моль. Если присутствует также H₂SO₄, поправка для H₂SO₄ частично учитывается в e₁, частично – в e₂.

А.2.2.2 Теплота образования серной кислоты. На каждый грамм серы, содержащейся в пробе, вводится поправка в 5,80 кДж. Величина данной поправки получена на основе значения теплоты образования 0,17 М раствора H₂SO₄, равного 301,4 кДж/моль. Однако часть поправки для серы, равная 2 × 57,8 кДж/моль серы, учитывается для H₂SO₄ в поправке e₁. Таким образом, значение необходимой дополнительной поправки составляет

$$301,4 - (2 \times 57,8) = 185,8 \text{ кДж/моль серы или } 5,80 \text{ кДж/г серы.} \quad (\text{А.2.4})$$

А.2.2.2.1 Значение 5,80 кДж/г серы получено для жидкого топлива, содержащего относительно большое количество серы, поэтому по мере уменьшения содержания серы (в процентах) величина поправки уменьшается, в результате чего может быть допущена большая ошибка. В данных расчетах в качестве эмпирического состава жидкого топлива использовали значения: 0,8 % S, 99,2 % CH₂. Если 0,6 г пробы данного топлива сжигается в бомбе, содержащей 1 см³ воды, то концентрация образовавшегося раствора H₂SO₄ будет составлять приблизительно 0,17 моль/л.

А.2.2.2.2 В соответствии с циркуляром № 500 Национального института стандартов и технологий теплота реакции SO₂(г) + ½ O₂(г) + 651 H₂O = H₂SO₄ · 650 H₂O при постоянном объеме и давлении 3 МПа составляет 301,4 кДж/моль.

А.2.2.3 Теплота сгорания запальной проволоки. Допускается применять следующие значения теплоты сгорания:

стальная проволока № 34 В & S = 1,13 Дж/мм;

проволока из хромеля С № 34 В & S = 0,96 Дж/мм.

А.2.2.4 Теплота сгорания самоклеящейся ленты. Поправка на теплоту сгорания ленты (в соответствии с 8.3) предполагает полное сгорание ленты.

А.3 Предостережения

А.3.1 Натрия гидроксид

Предупреждение. Коррозийный. Может вызвать сильные ожоги или слепоту. При быстром смешении с водой выделяющаяся теплота вызывает интенсивную реакцию или выброс смеси.

Перед применением следует ознакомиться с информацией о способе применения и защитных мерах с целью безопасного обращения.

Не допускать попадания в глаза, на кожу и на одежду.

Следует избегать вдыхания пыли или аэрозоля.

Не допускается попадание внутрь.

При обращении следует использовать химические защитные очки или защитную маску, защитные перчатки, обувь и одежду.

При смешивании с водой следует медленно добавлять на поверхность раствора во избежание сильного разбрызгивания. При приготовлении растворов не допускается использовать горячую воду, следует ограничивать повышение температуры до 10 °С/мин, применяя перемешивание или ограничивать температуру до максимальной (90 °С). Однократное добавление гидроксида натрия не должно увеличивать концентрацию раствора более чем на 5 %.

СТБ 1663-2006

А.3.2 Кислород

Предупреждение. Кислород сильно ускоряет горение.

Не допускается превышать предельное значение количества пробы.

Не допускается наносить масло или смазочные материалы на регуляторы, манометры и контрольные устройства.

Для работы с кислородом используют оборудование, тщательно очищенное от масла, смазочных материалов и других горючих веществ.

Горючие вещества хранят вдали от кислорода и удаляют источники воспламенения.

Соблюдают чистоту поверхностей для предотвращения возгорания или взрыва, или того и другого, при контакте с кислородом.

Всегда необходимо использовать редуктор давления. Перед открытием клапана баллона снижают давление в редукторе.

Все используемое оборудование и контейнеры должны быть пригодны и рекомендованы для работы с кислородом.

Не допускается подавать кислород из баллона в баллон.

Не допускается смешивать газы в баллоне.

Не допускается падение баллона. Обеспечивают надежное крепление баллона в течение всего времени его использования.

При открытом вентиле баллона не допускается находиться вблизи выходного отверстия.

Баллон предохраняют от воздействия солнечного света и источников тепла.

Баллон предохраняют от воздействия коррозионных сред.

Не допускается использовать баллон без этикетки.

Не допускается использовать поврежденные баллоны или баллоны с вмятинами.

Предназначен только для технического использования. Не допускается использовать для ингаляции.

Применяют при соответствующей вентиляции.

А.3.3 2,2,4-Триметилпентан

Предупреждение. Легковоспламеняющаяся жидкость. Попадание внутрь вредно.

Пары могут вспыхнуть.

Хранят вдали от источников тепла, искр и открытого огня.

Сосуд хранят закрытым.

Применяют при соответствующей вентиляции.

Следует избегать накопления паров и исключить все источники возгорания, особенно взрывоопасные электрические приборы и нагреватели.

Следует избегать длительного вдыхания паров или аэрозолей.

Следует избегать длительного или частого контакта с кожей.

Приложение В (справочное)

Библиография

[1] Gross, M. E., Guthrie, G. B., Hubbard, W. N., Katz, C., McCullough, J. P., Waddington, G., and Williamson, K. D., «Thermodynamic Properties of Furan,» («Термодинамические свойства фурана») Journal, Am. Chemical Soc., Vol 74, № 18, Sept. 23, 1952, pp. 4662 – 4669.

[2] Jessup, R. S., «Heats of Combustion of the Liquid Normal Paraffin Hydrocarbons from Hexane to Dodecane,» («Теплота сгорания жидких нормальных углеводородов от гексана до декана») Journal of Research, Nat. Bureau Standards, Vol 18, № 12, February 1937, pp. 115 – 128.

[3] Prosen, E. J. R., and Rossini, F. D., «Heats of Isomerization of the Five Hexanes,» («Теплота изомеризации пяти гексанов») Journal of Research, Nat. Bureau Standards, Vol 27, № 3, September 1941, pp. 289 – 310. (Research Paper RP 1420).

[4] Barry, F., and Richards, T. W., «Heat of Combustion of Aromatic Hydrocarbons and Hexamethylene,» («Теплота сгорания ароматических углеводородов и гексаметилена») Journal, Am. Chemical Soc., Vol 37, № 5, May 1915, pp. 993 – 1020.

[5] Coops, J., and Verkade, P. E., «A New Method for the Determination of the Heats of Combustion of Volatile Substances in the Calorimetric Bomb,» («Новый метод определения теплоты сгорания летучих веществ в калориметрической бомбе») Recueil travaux chimiques, Vol 45, 1926, pp. 545 – 551.

[6] Hubbard, W. N., Huffman, H. M., Knowlton, J. W., Oliver, G. D., Scott, D. W., Smith, J. C., Todd, S. S., and Waddington G., «Thermodynamic Properties of Thiophene,» («Термодинамические свойства тиофена») Journal, Am. Chemical Soc., Vol 71, № 3, March 1949, pp. 797 – 808.

[7] LeTourneau, R. L., and Matteson, R., «Measurement of Heat of Combustion of Volatile Hydrocarbons,» («Определение теплоты сгорания летучих углеводородов») Analytical Chemistry, Vol 20, № 7, July 1948, pp. 663 – 664.

[8] Dean, E. W., Fisher, N. E., and Williams, A. A., «Operating Procedure for Determining the Heat of Combustion of Gasoline,» («Методика определения теплоты сгорания бензинов») Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition, Vol 16, № 3, March 1944, pp. 182 – 184.

[9] Prosen, E. J., and Rossini, F. D., «Heats of Combustion of Eight Normal Paraffin Hydrocarbons in the Liquid State,» («Теплоты сгорания восьми нормальных углеводородов в жидком состоянии») Journal of Research, Nat. Bureau of Standards, Vol 33, № 4, October 1944, pp. 255 – 272. (Research Paper RP 1607).

Ответственный за выпуск *В.Л. Гуревич*

Сдано в набор 12.09.2006	Подписано в печать 11.10.2006	Формат бумаги 60x84/8.	Бумага офсетная.
Печать ризографическая	Усл. печ. л. 2,32	Уч.-изд. л. 1,13	экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
НП РУП "Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации" (БелГИСС)
Лицензия № 02330/0133084 от 30.04.2004
БелГИСС, 220113, г. Минск, ул. Мележа, 3