

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТОПЛИВ

*Максимук Ю.В.<sup>1</sup>, Фесько В.В.<sup>1</sup>, Васаренко И.В.<sup>2</sup>, Дубовик В.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ЗАО «БМЦ», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: Maksimuk@bsu.by

*Выполнен анализ технических нормативных правовых актов, регламентирующих определение теплоты сгорания твердых и жидких топлив, и рассмотрены проблемы применения новых стандартов. Представлено первое разработанное в Республике Беларусь средство измерения теплоты сгорания – бомбовый изопериболический калориметр БИК 100, имеющий метрологические характеристики на уровне лучших зарубежных аналогов.*

**Ключевые слова:** бомбовый калориметр, теплота сгорания.

### Введение

Теплота сгорания (ТС) – основной показатель качества различных видов топливных продуктов, характеризующий величину заключенной в них энергии. В практических расчетах используют величину низшей удельной теплоты сгорания при постоянном давлении (НТС). В термохимии этому показателю соответствует «изменение энтальпии в процессе сгорания», при котором образующаяся в продуктах сгорания вода находится в газообразном состоянии. Для котельных и моторных топлив минимально допустимые значения НТС нормируются в соответствующих стандартах: для мазута в ГОСТ 10585, твердых биотоплив – EN 14961, СТБ 2027, каменного угля – ГОСТ 32356, авиационного бензина – ГОСТ 1012 и др. Для котельных топлив НТС характеризует максимальное количество тепла, которое может выделиться при полном сгорании топлива в котлах без конденсации образующейся воды. Для моторных топлив от величины НТС зависят мощность двигателя и удельный расход топлива. Качественные показатели топлив для летательных аппаратов являются одновременно и показателями безопасности. Поэтому для авиационных бензинов (ГОСТ 1012, ASTM D 910), авиационного топлива для газотурбинных двигателей (ГОСТ 32595, ASTM D 1655) и топлива для ракетных двигателей (ГОСТ 10227) величина НТС нормируется в обязательном

порядке, в отличие от автомобильных бензинов и дизельного топлива. Требование к минимально допустимому значению НТС установлено также для нефтяного топлива газотурбинных установок (ГОСТ 10433), эффективность работы которых непосредственно связано с вырабатываемой ими мощностью, а также для рапсового масла (DIN 51605), применяемого в качестве топлива в специально сконструированных двигателях внутреннего сгорания.

Для судового топлива (ISO 8217) величина НТС не нормируется и определяется только в случае необходимости. Для строительной продукции НТС – показатель, применяемый для расчета пожарных характеристик, а также для классификации материалов по горючести в соответствии с EN ISO 13501-1. Для кормов и отходов жизнедеятельности определяется их максимальная энергетическая ценность – высшая теплота сгорания при постоянном объеме (ВТС) или энергия сгорания, необходимая для вычисления значений обменной энергии.

ТС – главный показатель, формирующий стоимость котельного топлива, поэтому ее точное определение является важной метрологической задачей для контроля эффективности использования топливных энергоресурсов. Различным вариантам ее решения посвящен ряд публикаций [1–5], но нормативные аспекты методологии измерений представлены в основном для газообразного топлива [1–4]. Ранее нами выполнен сравнительный анализ методик [6–8]

и средств измерения [9] ТС топлив в различных агрегатных состояниях. К настоящему времени введены в действие новые стандарты по определению ТС биотоплива, отходов и др., появились новые модели калориметров сжигания. Цель работы – представление нового калориметра и критический анализ технических нормативных правовых актов (ТНПА) и средств измерения (СИ) по определению ТС твердых и жидких топлив. Данный анализ необходим для выявления возможных несоответствий при проведении измерений ТС, а также для повышения точности и достоверности результатов этих измерений.

### Технические нормативные правовые акты по определению теплоты сгорания

Для каждого вида продукции разработаны и используются соответствующие ТНПА по определению ТС (таблица 1).

Экспериментальное определение ТС проводится методом бомбовой калориметрии сжигания, который основан на измерении количества тепла, выделяющегося при полном сгорании навески топлива в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода. Расчетные методики вычисления ТС стандартизированы для авиационных, дизельных и судовых топлив.

Поскольку экспериментальные измерения основаны на использовании одного (калориметрического) метода, то основным направлением развития и совершенствования ТНПА по определению ТС является их унификация. Тенденции к унификации проявляются в следующем:

- введение в действие с 01.01.2014 единой методики поверки на все типы бомбовых калориметров сжигания различных производителей (ГОСТ Р 8.789-2012);

- переход стран на единые ТНПА. Например, с 01.01.2015 10 стран (Беларусь, Россия, Кыргызстан, Молдова, Узбекистан и др.) переходят на модифицированную версию международного стандарта ISO 1928:2009 путем принятия ГОСТ 147-2013;

- широкое использование национального стандарта Германии DIN 51900, в котором представлена общая методика для топлив без разделения на твердые и жидкие;

- сокращение ряда американских стандартов по определению ТС за счет отмены ASTM E 711 (топливо из отходов), ASTM D 2015 (уголь и кокс в адиабатическом калориметре) и

- объединения стандартов путем замены ASTM D 1989 (уголь и кокс в микропроцессорном изопериболическом калориметре) и ASTM D 3286 (уголь и кокс в изопериболическом калориметре) на специально разработанный ASTM D 5865 (стандартный метод определения ВТС угля и кокса), а ASTM D 2382 на уже действующий ASTM D 4809;

- тексты стандартов на различные виды твердых топлив ISO 1928 (минеральное), EN 14918 (биотопливо) и EN 15400 (регенерированное) идентичны примерно на 90 %.

ГОСТ Р 8.789 вместо ранее применявшейся рекомендации МИ 2096 регламентирует методику поверки бомбовых калориметров уполномоченными метрологическими организациями. Поверка проводится в два этапа: 1) подготовительный – определение энергетического эквивалента (ЭЭ) путем шести сжиганий стандартного образца (СО) «Бензойная кислота К-3» (ГСО 5504-90) в соответствии с руководством по эксплуатации калориметра; 2) определение энергии сгорания СО путем проведения еще шести сжиганий и использованием при расчете значения ЭЭ, полученного на первом этапе.

Контролируемыми параметрами при поверке являются значения относительных средних квадратичных отклонений случайной составляющей погрешности ЭЭ и калориметра, а также относительная погрешность калориметра. Последняя величина представляет собой относительное отклонение полученной энергии сгорания СО (в ГОСТ Р 8.789 используется лишнее, на наш взгляд, синоним «эталонная мера») от его сертифицированного значения ( $26454 \pm 5$  кДж/г). Предлагаемая поверка калориметров является максимально достоверной.

В то же время на практике это означает, что для поверки калориметра по ГОСТ Р 8.789 необходимо проводить в два раза больше экспериментов, чем ранее, но с одинаковым результатом – выдачей (невыдачей) свидетельства о поверке. Поэтому систематическое накопление результатов опытов по определению ЭЭ позволит не только контролировать значение ЭЭ, но и увеличивать межповерочный интервал, тем более, что в ГОСТ Р 8.789 интервал периодических поверок 2-го этапа не установлен. Это связано с тем, что, как правило, калориметр демонстрирует сохранение постоянной (в пределах погрешности прибора) величины ЭЭ. Полученные в результате поверки

результаты могут быть использованы для сравнения метрологических характеристик различ-

ных калориметров и как исходные данные для расчета неопределенности измерений ТС.

*Таблица 1*

**Технические нормативные правовые акты по методам определения теплоты сгорания**

Вид продукции	Обозначение ТНПА	Примечания	
<i>Экспериментальные методы</i>			
Твердые минеральные топлива	ГОСТ 147-2013 (ISO 1928:2009) ISO 1928:2009		
Брикеты древесные	СТБ 2055-2010 п. 9.6		
Уголь и кокс	ASTM D 5865-13		
Твердые и жидкие топлива	DIN 51900-1-2000	Общие положения	
	DIN 51900-2-2003	Изопериболический калориметр	
	DIN 51900-3-2005	Адиабатический калориметр	
Нефтепродукты	ГОСТ 21261-91 ASTM D 240-09 СТБ 1663-2006 (ASTM D 240-02) ASTM D 4809-09 СТБ 2011-2009 (ASTM D 4809-09)		
Корма для животных, продукты животноводства и отходы	ISO 9831:1998		
Твердые регенерированные топлива	EN 15400:2011		
Отходы	ASTM D 5468-02 ГОСТ Р 54261-2010 (ASTM D 5468-02)		
Твердые биотоплива	EN 14918:2009		
Строительные материалы	ISO 1716:2010 СТБ EN ISO 1716-2008 (ISO 1716:2002)		
<i>Расчетные методы</i>			
Авиационные топлива	ASTM D 4529-01 СТБ 1572-2005 (ASTM D 4529-01) ASTM D 1405/ D 1405M-08 ISO 3648:1994		Расчет по плотности и анилиновой точке (температура, при которой топливо растворяется в анилине)
Топлива для реактивных двигателей	ГОСТ 11065-90		
Печные и дизельные топлива	ASTM D 4868-00	Расчет по плотности, влажности, зольности и содержанию серы	
Судовые топлива	ISO 8217:2010 Annex E ГОСТ Р 54299-2010 (ISO 8217:2010), Приложение К		

Недостатком методики ГОСТ Р 8.789 является указание конкретных моделей калориметров, внесенных в госреестр средств измерения (СИ), что означает необходимость внесения изменений в стандарт при появлении новых СИ.

Но это технический момент, а принципиальным недостатком является, на наш взгляд, тенденция установления в стандарте для калориметров различных моделей разных типов и значений метрологических характеристик MX1 и MX2. Ме-

тодика поверка единая, но значения МХ2 для приборов различаются в два раза, а для МХ1 установлены пределы допускаемой погрешности определения только ЭЭ. Если калориметр признается как СИ ТС, значит и требования к нему должны быть единые для всех моделей. Один калориметр может быть точнее, другой быстрее, но нормируемые пределы должны быть одинаковы или определяться требованиями стандартов, приведенных в таблице 1. Различия можно вводить, если ограничивать использование конкретной модели калориметра определенным видом топлива, например твердыми бытовыми отходами, или для работы по определенному стандарту, например только по ISO 9831.

Разработанный ГОСТ 147-2013 является модифицированным по отношению к ISO 1928:2009. Он не имеет технических отклонений, но его текст отредактирован, сокращен и изложен в соответствии с правилами и методами принятия международных стандартов по ГОСТ 1.3 и ГОСТ 1.5. Еще одним аспектом унификации является тот факт, что область применения ГОСТ 147 распространяется на биотоплива до принятия межгосударственного стандарта (ГОСТ), гармонизированного с EN 14918. ГОСТ 147 отличается от ISO 1928 тем, что в ГОСТ 147 оставлена использовавшаяся ранее расчетная формула для определения поправок на серную и азотную кислоты. Рекомендовано вычисление НТС по формуле, не учитывающей содержание кислорода и азота в пробе, поскольку декларируется, что их суммарный вклад не превышает 50 кДж/кг. Расчет НТС из ВТС проводится на основании значений влажности и массовой доли водорода, но, как правило, топливные лаборатории не определяют вторую величину, используя справочные значения. Результаты межгосударственных лабораторных сличений по углю, проведенные ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в 2014 г., показали, что из 68 лабораторий содержание водорода определили в 13, из которых удовлетворительные результаты (попадание в  $\pm 0,18$  % от приписанного значения) были только в 7 лабораториях. Величина отклонения при расчете НТС составляет 22 кДж/кг на каждые 0,1 % содержания водорода и в случае испытаний образцов не установленного происхождения или неизвестного состава может быть значительно большей.

Представляется необходимым и целесообразным разработать единый стандарт на метод

определения ТС для жидких топлив, объединяющий нефтепродукты, био- и синтетические топлива.

### Средства измерения теплоты сгорания жидких и твердых топлив

Экспериментальное определение ВТС проводится в бомбовых калориметрах сжигания [10]. Анализ метрологических и потребительских характеристик калориметров ведущих производителей представлен в обзорах [5, 11], а также в статьях [12–14]. Все приборы находятся в одном классе точности 0,1–0,2 %. Для обеспечения единства измерений в России (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева) разработан новый комплекс аппаратуры государственного первичного эталона энергии сгорания [15], а в Республике Беларусь (БелГИМ) – новый государственный эталон «Джоуль».

Основным направлением развития приборов для измерений тепловых эффектов является создание более «скоростных» СИ. Например, в области измерения теплоемкости и тепловых эффектов фазовых переходов практически повсеместно используются дифференциально-сканирующие калориметры вместо адиабатических. Поэтому большинство современных калориметров сжигания имеет два режима измерений: стандартный и динамический (ускоренный). Первый часто обозначают как режим Ренно-Пфаундлера по одноименной методике расчета поправки на теплообмен, ставшей классической и внесенной в ТНПА. В динамическом режиме используют возможности программного сопровождения эксперимента, позволяющего выдавать результат, не дожидаясь окончания калориметрического опыта. Сокращение длительности калориметрического опыта возможно только за счет снижения точности измерений. Поэтому использование ускоренного режима, на наш взгляд, будет оправдано и обеспечит достаточную точность только в случае проведения большого количества однотипных испытаний, например верхового торфа, соломы и др., после предварительно выполненной калибровочной серии в стандартном режиме на таких же образцах. Продолжительность испытания также сокращают за счет упрощения ручной процедуры размещения образца в бомбе (тигле), автоматического заполнения бомбы кислородом, предварительной регулировки температуры воды в оболочке, сосуде и др.

Последними (2013 г.) наиболее известными разработками мирового уровня являются первое в Республике Беларусь СИ ТС (Госреестр № 03 10 5145 13) – калориметр БИК 100 компании ЗАО «БМЦ» [16] и новые модели С1 и С6000 компании ИКА Werke GmbH&Co. KG (Германия) (таблица 2).

Представленные приборы являются изопе-риболическими калориметрами сжигания [15], оснащенными платиновыми температурными датчиками с разрешением 0,0001 К. Использование более высокого разрешения температуры, реализованное в АБК-1В, не является

техническим преимуществом, поскольку величина в 0,00001 К не превышает уровень шума. В БИК 100 крышка калориметра входит в единую систему термостатируемой оболочки, что позволяет проводить испытания в широком интервале температур окружающего воздуха по сравнению с калориметрами ИКА с водяной оболочкой. Кроме того, калориметр БИК 100 имеет встроенную систему охлаждения оболочки и, соответственно, не требует подключения к водопроводной сети, в отличие от калориметров ИКА, для которых обязателен внешний циркуляционный термостат.

Таблица 2

**Основные характеристики калориметров**

Наименование характеристики	БИК 100 ЗАО «БМЦ»	С1 ИКА	С6000 ИКА
Значение начальной температуры, °С	24,8	22, 30	22, 25, 30
Температура окружающей среды, °С	15–30	20–25	20–25
Воспроизводимость по бензойной кислоте К-3, %	0,05	0,1	0,05

Разработка калориметра БИК 100 осуществлена на основе достижений в области конструирования эталонных СИ температуры [17] и высокоточных термостатирующих устройств [18]. Это позволило добиться при государственных приемочных испытаниях БИК 100 нестабильности поддержания температуры оболочки 26,2 °С в течение 30 мин не хуже  $\pm 0,001$  °С и абсолютной погрешности измерения базовой температуры  $25 \pm 0,025$  °С, соответственно. Низкие значения погрешностей данных величин относительно установленных  $\pm 0,1$  °С в ISO 1928 обеспечивают высокоточное определение ТС в белорусской модели калориметра. Критерием точности калориметров являются значения погрешности определения ЭЭ, а в соответствии с ГОСТ Р 8.789 погрешности определения ТС СО. К сожалению, использование различных наименований параметров оценки точности при отсутствии расчетных формул не позволяют корректно сравнивать значения, приведенные в литературных источ-

никах. Для БИК 100 при государственных приемочных испытаниях величина среднего квадратичного отклонения случайной составляющей погрешности определения ЭЭ, рассчитанная в соответствии с ГОСТ Р 8.789 (п. 9.2), составила 2,6 Дж/°С. Сравнение характеристик калориметра БИК 100 и калориметров ведущих производителей показало, что по метрологическим характеристикам разработанное нами СИ ТС находится на уровне лучших мировых аналогов.

### Заключение

Выполнен анализ действующих стандартов по экспериментальным и расчетным методам определения теплоты сгорания твердых и жидких материалов, основной тенденцией развития которых является унификация.

Разработана первая серийная модель нового бомбового калориметра сжигания БИК 100 (ЗАО «БМЦ», Беларусь), обеспечивающего ве-

личину относительного среднего квадратичного отклонения случайной составляющей погрешности определения энергетического эквивалента не более 0,05 % при температурах окружающего воздуха 15–30 °С.

### Список использованных источников

1. Александров, Ю.И. Методика измерения теплоты сгорания природного газа на изотермическом калориметре / Ю.И. Александров [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2001. – Т. 74, № 9. – С. 1489–1493.
2. Александров, Ю.И. Проблемы измерений калорийности при сертификации основных видов энергоносителей / Ю.И. Александров, Е.Н. Корчагина // Измерительная техника. – 2002. – № 6. – С. 69–71.
3. Александров, Ю.И. Проблемы прецизионного измерения энтальпий сгорания природного газа / Ю.И. Александров, Е.Н. Корчагина, А.Г. Чуновкина // Журнал физической химии. – 2003. – Т. 77, № 10. – С. 1759–1763.
4. Ананьин, В.Н. Метрологическое обеспечение измерений энергии (теплоты) сгорания различных видов топлива в Республике Беларусь / В.Н. Ананьев, М.В. Махнач, С.А. Ивлев // Энергия и менеджмент. – 2007. – № 4 (37). – С. 20–23.
5. Корчагина, Е.Н. Калориметрия сгорания топлив / Е.Н. Корчагина, Е.В. Ермакова, В.П. Варганов // Мир измерений. – 2012. – № 2. – С. 32–39.
6. Максимук, Ю.В. Анализ стандартов по определению теплоты сгорания твердого и жидкого топлива 1. Основные требования и калибровка оборудования / Ю.В. Максимук, З.А. Антонова, А.Ф. Сыщенко // Энергоэффективность. – 2007. – № 7. – С. 3–6.
7. Максимук, Ю.В. Анализ стандартов по определению теплоты сгорания твердого и жидкого топлива 2. Особенности методики проведения испытаний / Ю.В. Максимук, З.А. Антонова, А.Ф. Сыщенко // Энергоэффективность. – 2007. – № 8. – С. 4–6.
8. Максимук, Ю.В. Особенности расчета низшей теплоты сгорания жидкого и твердого биотоплива / Ю.В. Максимук // Энергоэффективность. – 2009. – № 8. – С. 8–12.
9. Максимук, Ю.В. Анализ методик и средств измерений для определения теплоты сгорания топлив в Республике Беларусь / Ю.В. Максимук, З.А. Антонова, А.Ф. Сыщенко // Метрология и приборостроение. – 2005. – № 4. – С. 35–41.
10. Воробьев, Л.И. Бомбовые калориметры для определения теплоты сгорания топлива / Л.И. Воробьев, Т.Г. Грищенко, Л.В. Декуша // Инженерно-физический журнал. – 1997. – Т. 70, № 5. – С. 828–839.
11. Корчагина, Е.Н. Сравнительный анализ технических и метрологических характеристик бомбовых калориметров, применяемых в России / Е.Н. Корчагина, Е.В. Ермакова, В.И. Беляков // Измерительная техника. – 2011. – № 2. – С. 51–57.
12. Декуша, Л. Квазидифференциальный калориметр теплового потока для визначення теплоти згорання / Л. Декуша [та інш.] // Метрологія та прилади. – 2011. – № 5. – С. 27–31.
13. Машкинов, Л.Б. Быстродействующий диатермический бомбовый калориметр сжигания БКС-2Х / Л.Б. Машкинов, П.К. Васильев, В.В. Батылин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. – Т. 74, № 4. – С. 42–44.
14. Иноземцев, Я.О. Калориметр для контроля эффективности энергоемких систем и калорийности энергоресурсов / Я.О. Иноземцев, А.Б. Воробьев, Ю.Н. Матюшин // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 1. С. 71–74.
15. Корчагина, Е.Н. Новый комплекс аппаратуры Государственного первичного эталона единиц энергии сгорания, удельной энергии сгорания и объемной энергии сгорания (ГЭТ 116-2010) / Е.Н. Корчагина [и др.] // Измерительная техника. – 2011. – № 8. – С. 29–33.
16. Официальный сайт ЗАО «БМЦ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bmc.by>. – Дата доступа 05.06.2014.
17. Сыщенко, А.Ф. Метрологическое обеспечение температурных измерений: Состояние и проблемы / А.Ф. Сыщенко, Д.П. Русальский // Приборы и методы измерений. – 2011. – № 1 (2). – С. 98–103.
18. Сыщенко, А.Ф. Низкотемпературный термостат «Криостат» / А.Ф. Сыщенко, А. А. Емельянов // Измерительная техника. – 2004. – № 11. – С. 37–39.

**METROLOGICAL PROVISION FOR MEASUREMENTS OF CALORIFIC VALUE OF SOLID AND LIQUID FUELS**

*Maksimuk Yu.V.<sup>1</sup>, Fes'ko V.V.<sup>1</sup>, Vasarenko I.V.<sup>2</sup>, Dubovik V.G.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Research Institute for Physical & Chemical Problems of the Belarusian State University  
Minsk, Belarus

<sup>2</sup>JSC «BMC», Minsk Belarus  
e-mail: Maksimuk@bsu.by

**Abstract.** The analysis of the standards regulating measurement of calorific value for solid and liquid fuels is made, and problems of application of new documents are considered. The bomb isoperibolic calorimeter BIC 100 (Belarus) having metrological characteristics at level of the best foreign analogues is presented.

**Keywords:** bomb calorimeter, calorific value.

**References**

1. Aleksandrov Yu.I., Belyakov V.I., Varganov V.P., Sarge S. [Method for measuring the combustion heat of natural gas with isothermal calorimeter]. *Zhurnal prikladnoj khimii*, 2001, vol. 74, no. 9, pp. 1539–1545 (In Russian).
2. Aleksandrov Yu.I., Korchagina E.N. [Measuring calorific value in certifying major fuels]. *Izmeritel'naya tekhnika*, 2002, vol. 45, no. 6, pp. 667–670 (In Russian).
3. Aleksandrov Yu.I., Korchagina E.N., Chunovkina A.G. [Problems of precision measurements of the enthalpies of natural gas combustion]. *Zhurnal fizicheskoy khimii*, 2003, vol. 77, no. 10, pp. 1580–1583 (In Russian).
4. Anan'in V.N., Mahnach M.V., Ivlev S.A. [Metrology of measurements of the energy (heat) combustion for different fuels in Republic of Belarus]. *Energiya i menedzhment*, 2007, no. 4(37), pp. 20–23 (in Russian).
5. Korchagina E.N., Ermakova E.V., Varganov V.P. [Combustion calorimetry of fuels]. *Mir izmerenij*, 2012, no. 2, pp. 32–39 (in Russian).
6. Maksimuk Yu.V., Antonava Z.A., Syshchenko A.F. [Analysis of standards to determination heat of combustion for solid and liquid fuels. 1 Basic requirement and calibration of equipment]. *Energoeffektivnost'*, 2007, no. 7, pp. 3–6 (in Russian).
7. Maksimuk Yu.V., Antonava Z.A., Syshchenko A.F. [Analysis of standards to determination heat of combustion for solid and liquid fuels 2. Features of testing method]. *Energoeffektivnost'*, 2007, no. 8, pp. 4–6 (in Russian).
8. Maksimuk Yu.V. [Calculation of low heat value for liquid and solid biofuel]. *Energoeffektivnost'*, 2009, no. 8, pp. 8–12 (in Russian).
9. Maksimuk Yu.V., Antonava Z.A., Syshchenko A.F. [Analysis of methods and instruments for determination of calorific value for fuels in Republic of Belarus]. *Metrologiya i priborostroyeniye*, 2005, no. 4, pp. 35–41 (in Russian).
10. Vorob'yov L.I., Grishchenko T.G., Dekusha L.V. [Review Bomb calorimeters for determination of the specific combustion heat of fuels]. *Ingenerno-tekhnicheskij zhurnal*, 1997, vol. 70, no. 5, pp. 829–839 (in Russian).
11. Korchagina E.N., Ermakova E.V., Belyakov V.I. [A comparative analysis of the technical and metrological characteristics of bomb calorimeters used in Russia]. *Izmeritel'naya tekhnika*, 2011, vol. 54, no. 2, pp. 186–193 (in Russian).

12. Dekusha L.V., Vorob'yov L.I., Grishchenko T.G. et al. [Quasidifferential heat flow calorimeter to determine heat of combustion]. *Metrologiya ta prilady*, 2011, no. 5, pp. 27–31 (in Ukrainian).
13. Mashkinov L.B., Vasil'ev P.K., Batylin V.V. [Fast-acting diathermic bomb combustion calorimeter]. *Zavodskaya laboratoriya*, 2008, vol. 74, no. 4, pp. 42–44 (in Russian).
14. Inozemtsev Ya.O., Vorob'yov A.B., Matyushin Yu.N. [Calorimeter for energy control]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2010, no. 1, pp. 71–74 (in Russian).
15. Korchagina E.N., Varganov V.P., Belyakov V.I., Ermakova E.V. [The new set of apparatus of the state primary standard of the units of heat of combustion and specific and volume heat of combustion]. *Izmeritel'naya tekhnika*, 2011, vol. 54, no. 8, pp. 893–900 (in Russian).
16. Ofitsial'nyj sayt ZAO «BMTS» [Website CJSC «BMC»]. Available at: <http://www.bmc.by> (accessed 05.06.2014) (In Russian).
17. Syshchanka A.F., Rusalsky D.P. [Metrological provision of temperature measurement: status and problems]. *Pribory i metody izmerenij*, 2011, no. 1 (2), pp. 54–57 (in Russian).
18. Syshchenko A.F., Emel'yanov A.A. [The Kriostat low-temperature thermostat]. *Izmeritel'naya tekhnika*, 2004, vol. 47, no.11, pp. 1087–1089 (in Russian).

*Поступила в редакцию 10.06.2014.*