

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор-директор ЭНИН
_____ Ю.С. Боровиков
« ___ » _____ 2011 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлениям 141100 «Энергетическое машиностроение», 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» и для магистрантов V–VI курсов, обучающихся по направлению 141100 «Энергетическое машиностроение»

Составитель В.И. Николаева

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 662.612.3(076.5)

ББК 35.51я73

О62

О62 **Определение теплоты сгорания твердого топлива:** методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлениям 141100 «Энергетическое машиностроение», 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» и для магистрантов V–VI курсов, обучающихся по направлению 141100 «Энергетическое машиностроение». / Сост. В.И. Николаева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 24 с.

УДК 662.612.3(076.5)
ББК 35.51я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН
« ____ » _____ 2011г.

Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

доктор техн. наук,

профессор

_____ А.С. Заворин

Председатель

учебно-методической комиссии

_____ А.В. Глазачев

Рецензент

Кандидат технических наук

заведующий кафедрой АТЭС ЭНИН ТПУ

Л.А. Беляев

© Составление. ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

© Николаева В.И., составление, 2011

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2011

Общие сведения

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы «Определение теплоты сгорания твердого топлива» по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» и по дисциплине «Исследование и наладка паровых котлов» для магистрантов V–VI курсов, обучающихся по направлению 141100 «Энергетическое машиностроение».

Без знания низшей теплоты сгорания топлива невозможно правильно и точно рассчитать коэффициент полезного действия парогенератора и определить расход топлива, а также невозможно проведение тепловых расчетов топливосжигающих установок.

Теплота сгорания или калорийность является основной теплотехнической характеристикой топлива, определяет его энергетическую ценность и представляет собой количество теплоты, выделяющейся в ходе химических реакций окисления горючих компонентов топлива газообразным кислородом [1].

Под удельной теплотой сгорания понимают количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы твердого топлива. Различают высшую и низшую теплотворную способность топлива.

Высшей теплотворной способностью Q_v называют все количество тепла, выделенное 1 кг топлива при его полном сгорании, если образующие при этом водяные пары конденсируются в воду. Но при сжигании топлива в топке образовавшаяся вода уходит в виде пара с продуктами горения, не отдав скрытой теплоты конденсации. Поэтому различают еще полезную, или низшую, теплотворную способность топлива.

Низшей теплотворной способностью Q_i^r называют тепло, выделенное 1 кг топлива при его полном сгорании минус тепло, затраченное на испарение воды, содержащейся в топливе и образующейся при его сгорании. В энергетических установках влага в продуктах сгорания остается в парообразном состоянии и теплота, затраченная на ее испарение, теряется. Чем больше влажность топлива, тем меньше Q_i^r . Низшую теплоту сгорания топлива в рабочем состоянии принято использовать в качестве основного показателя энергетической ценности топлива Q_i^r .

Паровые котлы одинаковой производительности могут потреблять существенно разное количество топлива, так как его теплота сгорания у разных видов изменяется достаточно в широких пределах. Для сравнения экономичности работы электростанций и упрощения расчетов при

сжигании различных видов топлива введено понятие *условного топлива*, имеющего теплоту сгорания $Q_{\text{у.т.}} = 29,33$ МДж/кг (7000 ккал/кг) [1].

Потребление разных видов топлива электростанциями может быть пересчитано в условное топливо по соотношению [1]:

$$B_{\text{у.т.}} = \frac{B \cdot Q_i^r}{Q_{\text{у.т.}}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{у.т.}}$, B – расход соответственно условного топлива и натурального.

При проектировании котельных установок и для проведения испытаний наиболее точно теплота сгорания должна быть определена только экспериментально сжиганием некоторого его количества в строго определенных условиях и измерением выделяющегося при этом тепла. В данных указаниях изложен метод экспериментального определения удельной теплоты сгорания твердых топлив на основе действующего Государственного стандарта (ГОСТ 147-95) [2].

Настоящий метод позволяет определить высшую и низшую теплоту сгорания бурых и каменных углей, антрацитов, горючих сланцев.

Целями лабораторной работы являются:

1. Освоение методики определения теплоты сгорания твердого топлива;
2. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания;
3. Оценка качества анализируемого топлива.

1 Описание установки

Сущность метода определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания бурых и каменных углей, антрацита, горючих сланцев, лигнитов, а также продуктов их обогащения и термической обработки, брикетов и торфа заключается в полном сжигании навески массы испытуемого топлива в калориметрической бомбе в изотермическом режиме при постоянном объеме в среде сжатого кислорода под давлением $29,4 \cdot 10^5$ Па (30 кгс/см²) и измерении подъема температуры воды в калориметрическом сосуде, а также в определении поправок на теплоту, выделяемую при сжигании запальной проволоки и теплоту образования и растворения в воде серной и азотной кислот.

Определение удельной теплоты сгорания энергетического топлива проводят на калориметре сжигания АБК-1с бомбой [3].

Калориметр АБК-1 предназначен для измерения теплоты сгорания энергетического топлива (твердого, жидкого и газообразного) в соответствии со следующими нормативными документами:

- твердого по ГОСТ 147-95,
- жидкого по ГОСТ 21261-91,
- газообразного по ГОСТ 10062-75.

Принцип действия калориметра заключается в измерении изменения температуры калориметрической системы с заранее известной эффективной теплоемкостью при сжигании строго определенного количества исследуемого топлива [3].

Схематически калориметр изображен на рисунке 1.

В корпусе 4 калориметра закреплена адиабатическая оболочка 2, выполненная в виде стакана. Пространство между ними заполнено воздухом. В полости адиабатической оболочки жестко закреплен калориметрический сосуд, выполненный в виде стакана с двойными стенками 6 и 7.

Калориметрический сосуд выполнен герметичным и заполнен теплоносителем – дистиллированной водой 1. Сосуд стационарно закреплен внутри адиабатической оболочки, исключая теплообмен калориметрического сосуда с окружающей средой.

В герметично закрытом пространстве между стенками сосуда 6 и 7 для циркуляции теплоносителя (воды) размещен делитель потока 8, а также магнитная мешалка 9 и нагреватель для подогрева сосуда 5 из проволоки, намотанной по внутренней стенке калориметрического сосуда 6.

Внутренняя полость сосуда закрыта тонкостенной крышкой 19, имеющей тепловой контакт с внутренней стенкой калориметрического сосуда. Крышка теплоизолирована от внешней среды воздушным зазором, полированным отражающим экраном 20 и теплоизоляцией.

Конструкция калориметрического сосуда позволяет исключить из процесса измерения теплоты сгорания его заполнение водой и взвешивание.

В полость калориметрического сосуда вставляется гладкостенная калориметрическая бомба 18, имеющая тепловой контакт с внутренней стенкой сосуда. Калориметрическая бомба самоуплотняющаяся представляет собой перевернутый стальной толстостенный стакан, на котором расположены два клапана, любой из которых служит для заполнения бомбы кислородом и сбросом давления из бомбы после сжигания топлива. В верхней части бомбы по бокам расположены два отверстия, служащие для присоединения кислородо-проводной трубки (присоединение трубки допускается к любому из отверстий). Заполнение калориметрической бомбы кислородом осуществляется при помощи устройства заправки кислородом (УЗК).

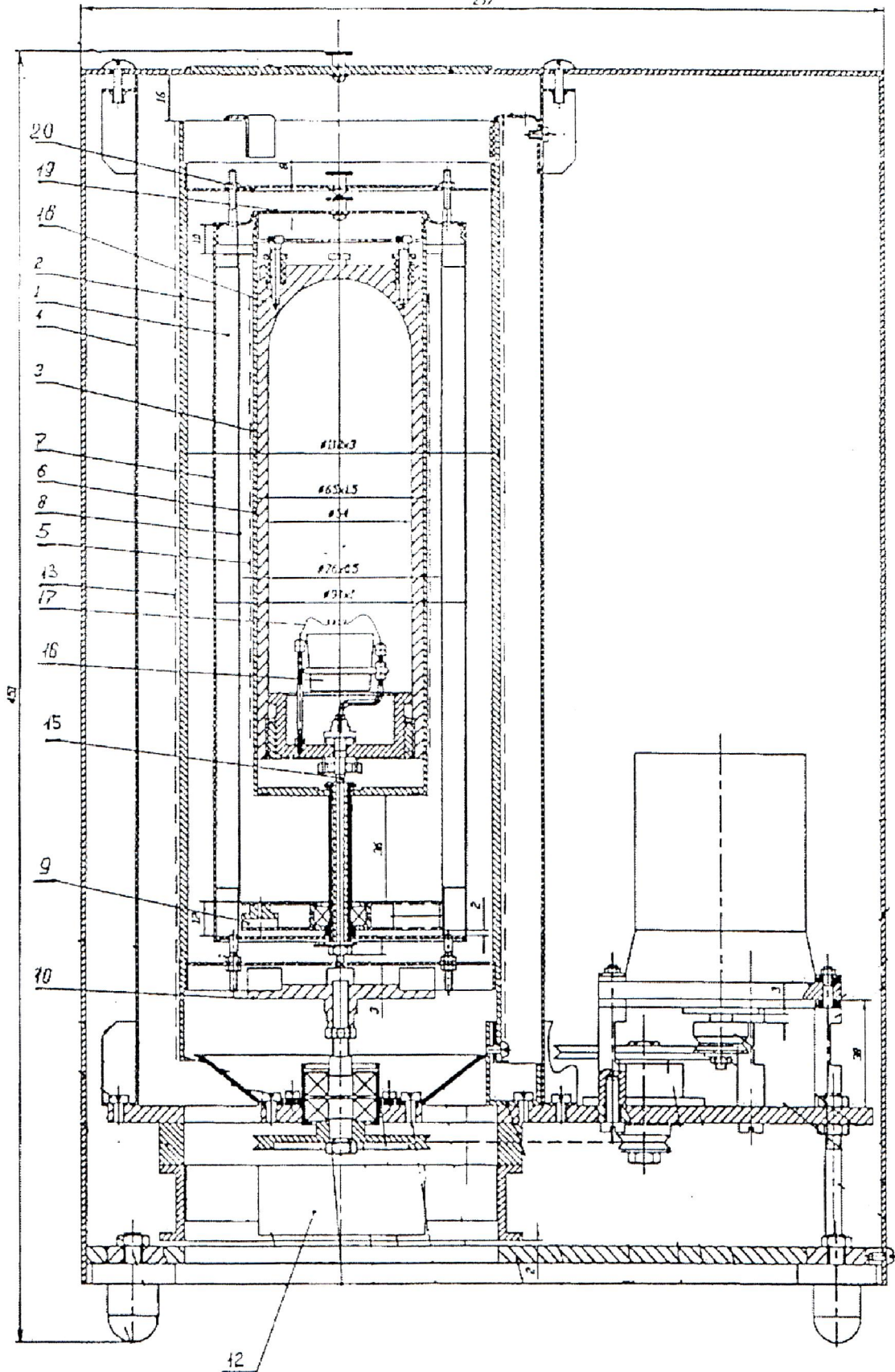


Рис. 1. Схема калориметра АБК-1

Кислородный баллон высокого давления через редуктор подсоединяется медной соединительной трубкой к входному штуцеру УЗК. К выходному штуцеру устройства подсоединяется медной трубкой (с голубым покрытием) калориметрическая бомба. Манометр М1 показывает входное давление. С помощью манометра М2 задается требуемое давление в бомбе. Подача кислорода в бомбу осуществляется электромагнитным клапаном. Отключение клапана производится контактами манометра М2.

Внутри калориметрической бомбы установлена чашечка (тигель) 16, выполненная из нержавеющей огнеупорной стали, с исследуемым образцом. Поджиг вещества осуществляется проволоочной спиралью 17, напряжение на которую подается через контакт 15 и корпус бомбы 18.

На внешней поверхности калориметрического сосуда 7 для измерения его температуры размещен медный термометр сопротивления, который несет информацию о температуре сосуда T_c .

Калориметрический сосуд и адиабатическая оболочка имеют датчики температуры, которые находятся на наружной поверхности сосуда и на внутренней поверхности оболочки, теплообмен между которыми необходимо устранить. Адиабатическая оболочка снабжена нагревателем 13. На корпусе калориметра также расположен термометр сопротивления, измеряющий температуру T_k .

При сгорании навески топлива происходит выделение тепла, в результате чего температура калориметрического сосуда T_c растет. Одновременно изменяется температура адиабатической оболочки, T_a , таким образом, что разность температур сосуда и адиабатической оболочки ($T_c - T_a$) сохраняется минимальной, т. е. в идеальном случае между сосудом и оболочкой теплообмен отсутствует, а в начальном и конечном периодах $T_c = T_a$.

Вентилятор 12 служит для продувания воздуха между корпусом и оболочкой и охлаждения оболочки до температуры, близкой к комнатной. Калориметр АБК-1 рассчитывает подъем температуры калориметрического сосуда с учетом поправки на теплообмен калориметрического сосуда с оболочкой.

Управление работой калориметра и расчет результатов измерения осуществляется системой управления, на базе персонального компьютера. Программа расчета результата измерения теплоты сгорания топлива проводит коррекцию результата по данным анализа на образование кислот, содержание серы, водорода, влаги и вычисляет низшую теплоту сгорания в соответствии с требованиями ГОСТ [2].

2 Работа калориметра

Калориметр работает в трех режимах, включаемых с экрана монитора: «Настройка», «Калибровка», «Измерение» [3].

2.1 Режим «Настройка» служит для настройки калориметра в процессе его эксплуатации.

2.2 Раздел «Параметры бомбы» содержит значения величины энергетического эквивалента и среднюю величину количества тепла, при котором это значение было определено.

2.3 Раздел «Параметры расчета» содержит информацию об удельной теплоте сгорания вспомогательных материалов, используемых в опыте (запальной проволочки).

2.4 В режиме «Калибровка» выполняется калориметрический опыт по сжиганию навески стандартного вещества – бензойной кислоты с точно известной теплотой сгорания и определяется энергетический эквивалент. В «Рабочем режиме» энергетический эквивалент задан. Результаты калибровочных измерений хранятся в архиве «Архив измер.».

2.5 В режиме «Измерение» – в «Рабочем режиме» сжигается исследуемое вещество и определяется его теплота сгорания. Результаты измерения теплоты сгорания топлив, выполненных в режиме «измерение» хранятся в архиве «Архив измер.».

3 Подготовка к испытанию

Подготовка к проведению калориметрического опыта складывается из подготовки навески, бомбы и помещения.

Испытание должно проводиться в отдельной комнате, защищенной от прямого воздействия солнечных лучей с малыми колебаниями температуры и влажности воздуха. В комнате не должно быть разогретых нагревательных приборов, оборудования, работающего с выделением тепла, а также включенных вентиляторов, создающих сильные потоки воздуха. Изменение температуры окружающего воздуха за время работы должно быть не более 1 °С за 30 мин и ее значения указываются при записи результатов испытания. Во время определения теплоты сгорания двери и окна должны быть плотно закрыты.

3.1 Подготовка навески топлива

3.1.1 Аналитическую пробу топлива, подготовленную по ГОСТ 10742-71 [4], перемешивают в банке и берут навеску топлива массой:

- для бурых и каменных углей – 0,8–1,0 г;

- для торфа и топлива с низкой теплотой сгорания – 1 г и более. Взвешивают с погрешностью не более 0,2 мг.

3.1.2 Сжигание испытуемого образца производят в виде порошка или брикета. Торф, бурые угли и каменные с зольностью до 35 % сжигают в виде брикета. Топливо с зольностью более 35 % или топливо, из которого не представляется возможным изготовить брикет (антрацит, горючие сланцы и др.), сжигают в виде порошка. При сжигании низкокалорийных топлив, не полностью сгорающих при давлении кислорода 25–30 кгс/см², применяют давление до 35 кгс/см².

3.1.3 Если навеска топлива при сгорании разбрасывается и частицы ее, попадая в воду на дне бомбы, остаются несгоревшими, то при повторном определении воду в бомбу не наливают.

3.1.4 В случае, когда не удастся достичь оптимального подъема температуры в калориметрическом сосуде, добавляют взвешенное количество вещества с известной высшей теплотой сгорания и тщательно перемешивают. При вычислении теплоты сгорания необходимо из общего количества теплоты вычесть количество теплоты, выделенной при сжигании добавляемого вещества.

3.2 Подготовка брикета

3.2.1 Для изготовления брикетов твердого топлива применяется специальный пресс, общий вид которого представлен на рис. 2.

На основании 1 закреплены две стойки 4. Сверху на стойках крепится направляющая 7, в которой вращается винт 6 ручкой 5. На откидную планку 11 в паз планки 10 устанавливается наполненная порошком твердого топлива матрица 2 с предварительно вставленным в нее основанием с иглой 3. Пуассон 9, в который вставлен толкатель 8 заводится в матрицу. Вращая ручку 5, доводят винт до соприкосновения с толкателем и прилагают усилие на ручку 5. Через некоторое время немного отвернуть ручку 5 и затем отодвинуть планку откидную 11 и выдавить пуассоном основание с иглой 3, на которой находится спрессованный плотный брикет. Взявшись за брикет безворсовой салфеткой, осторожно вращая, снять его с иглы.

Полученный брикет поместить в предварительно взвешенный тигель и вновь взвесить. Вес брикета определить по разнице веса тигля с брикетом и весом пустого тигля.

Перед началом брикетирования порошка топлива другого наименования все детали пресса промываются в этиловом спирте.

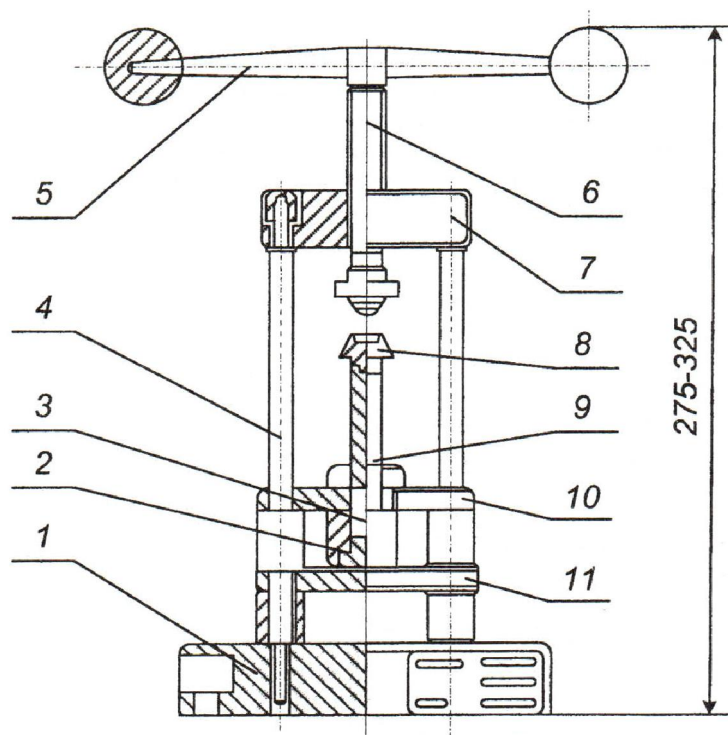


Рис. 2. Пресс для брикетирования:

1 – основания; 2 – матрица; 3 – игла; 4 – стойка; 5 – ручка; 6 – винт; 7 – направляющая; 8 – толкатель; 9 – пуассон; 10 – планка с пазом; 11 – планка откидная

3.2.2 Навески топлива с зольностью более 35 % или топлива, из которого невозможно изготовить брикет, помещают в чашечку в виде порошка. Взвешивание навески топлива во всех случаях лучше производить в тигле (чашечке) для сжигания.

3.2.3 Дно чашечки выстилается прокаленным при 800 °С волокнистым асбестом, необходимым для предотвращения взаимодействия материала чашечки с топливом, асбест также способствует полноте выгорания навески, особенно в случае высокозольного топлива (с зольностью более 35 %), сжигаемого в виде порошка. После чего чашечка с асбестом взвешивается.

3.2.4 Во взвешенную чашечку, на слой асбеста кладут приготовленный брикет или насыпают топливо и вновь взвешивают. Массу взятого для сжигания топлива находят по разности численных значений результатов взвешиваний.

3.2.5 Для запала навески используют металлическую проволоку, которую нарезают с помощью шаблона на отрезки равной длины (60–120 мм) и взвешивают вместе 10–15 отрезков и вычисляют среднюю массу одного отрезка. Все взвешивания производятся с погрешностью не более $\pm 0,2$ мг.

Удельную теплоту сгорания проволоки для запала в зависимости от материала, из которого она изготовлена, принимают согласно таблице 1.

Таблица 1

Удельная теплота сгорания

Наименование материала	Удельная теплота сгорания проволоки, МДж/кг
Железо	6,69
Никелин	3,24
Медь	2,51

3.2.6 Чашечку с брикетом поместить в кольцо держателя бомбы.

3.2.7 Запальную проволочку продеть через отверстие в брикете, затем один конец проволочки продеть через отверстие в электроде и зажечь подвижной трубкой. Другой конец проволоки продеть через отверстие на втором электроде и также прижать трубкой. Брикет должен провисать в тигле, проволока не должна касаться стенок чашечки и электродов. При испытании навески топлива в виде порошка проволока должна быть несколько углублена в порошок, но так, чтобы не свернулась в петлю и не касалась стенок чашечки.

3.3 Подготовка калориметрической бомбы к испытанию

3.3.1 Налить с помощью пипетки 1 мл дистиллированной воды в крышку бомбы. Вода предназначена для насыщения внутреннего пространства бомбы водяными парами и для растворения в ней образующихся окислов азота и серы при сжигании навески топлива.

3.3.2 Установить крышку бомбы в подставку и сначала рукой завинтить стакан бомбы, а затем более плотно затянуть ключом.

3.4 Заполнение бомбы кислородом

3.4.1 Закрывать оба клапана у бомбы. Усилия не прилагать!

3.4.2 Заполнить бомбу кислородом. Для этого присоединить кислородоподводящую трубку УЗК к любому из боковых отверстий бомбы.

3.4.3 Открыть любой впускной клапан бомбы (второй клапан должен быть закрыт).

3.4.4 Открыть вентиль баллона и через устройство УЗК подать кислород в бомбу. Бомбу наполняют кислородом медленно в течение 1–2 минут до давления 2,94 МПа (30 атм).

После заполнения бомбы кислородом срабатывает электромагнитный клапан УЗК и прекратит подачу кислорода, при этом синий светодиод гаснет и происходит периодическое срабатывание электромагнитного клапана.

3.4.5 Перекрыть впускной клапан бомбы. Не прилагать больших усилий при закручивании винта клапана!

3.4.6 Бомбу с кислородом с помощью винта установить в калориметрический сосуд, закрыть гнезда сосуда и оболочки последовательно крышками (три крышки).

4 Проведение испытания

4.1 Включить калориметр не менее чем за 15 мин до проведения измерения для того, чтобы установился внутренний тепловой режим прибора.

Калориметрический опыт проходит по стадиям, которые отображаются в окне «Режим работы» рис. 3 и условно называются:

- подготовка;
- пауза;
- начальный период;
- главный период;
- конечный период.

В нижней части экрана монитора расположены кнопки с названием их функций.

Кнопка «Остановить опыт» – останавливает опыт.

Кнопка «Новый опыт» стирает записи в разделах «Описание вещества», массы навесок, номер бомбы предыдущего опыта, устанавливает порядковый номер опыта, позволяет ввести с клавиатуры данные для нового опыта.

Кнопка «Подготовка» информирует оператора о необходимости охладить сосуд до начальной температуры опыта с помощью холодной болванки. Для охлаждения болванку следует поместить в холодильник.

При достижении сосудом заданной температуры подается непрерывно звучащий сигнал, предупреждающий о необходимости извлечь из сосуда охлаждающую болванку. Прервать сигнал можно клавишей «Выкл. Звука». Отключается звуковое сопровождение всего эксперимента. Охлаждение адиабатической оболочки происходит автоматически включаемым вентилятором, а на экран монитора выводится сообщение «Сосуд охлажден». Установите бомбу в сосуд и нажмите кнопку «Начать опыт» Когда температура сосуда и адиабатической оболочки достигнут заданных пределов, открывается кнопка «Начать опыт».

После установки бомбы в сосуд и нажатия кнопки «Начать опыт» проверяется цепь поджига и выдается сообщение «Цепь поджига прове-

рена. Подогрев сосуда включен». В окне выдается сообщение «До конца опыта осталось XXX отчетов», указывается время окончания опыта.

В правой части экрана расположен график, показывающий изменение температур сосуда и оболочки во времени (число отчетов). С началом нового опыта экран графика очищается от предыдущей информации.

Под графиком расположена таблица температур сосуда T_c , оболочки T_2 и корпуса T_3 , а также изменения температур сосуда dT_c , оболочки dT_2 и корпуса dT_3 за заданный период времени.

Монотонный характер изменения величины dT_c и минимальная величина dT_2 позволяют оператору контролировать нормальную работу калориметра.

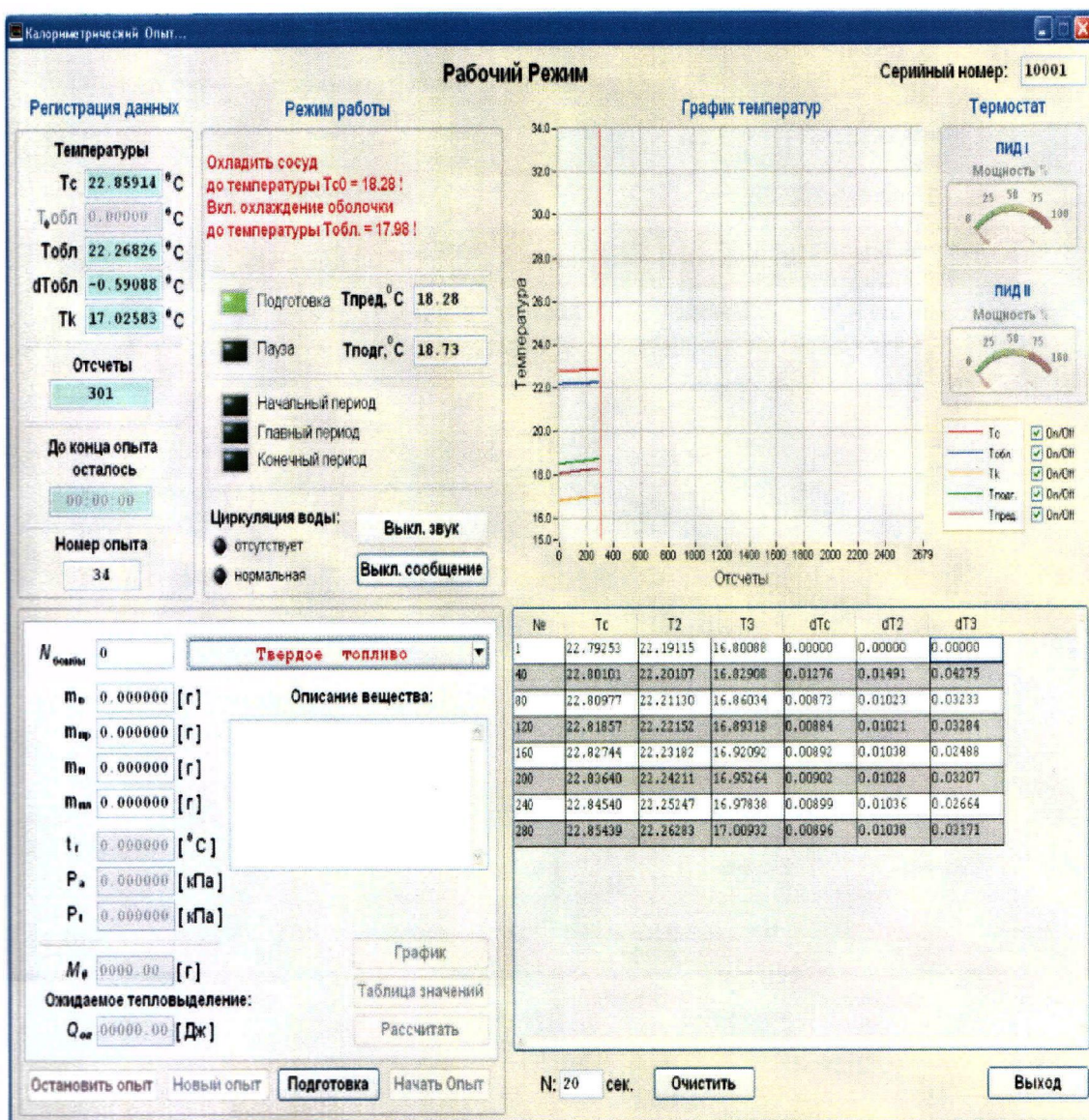


Рис. 3. Калориметрический опыт. Рабочий режим

4.2 С клавиатуры ввести параметры опыта:

- № – номер бомбы;
- m_b – массу вещества;
- $m_{пр}$ – массу сгорающей проволоки.

4.3 Для начала опыта нажать кнопку «Подготовка». На экране монитора загорается индикатор «Подготовка», нажать кнопку «Начать опыт», на мониторе загорается надпись «Цепь поджига проверена. Подогрев сосуда включен», загорается индикатор «Пауза».

Калориметрическое испытание делят на три периода и в ходе опыта световыми сигналами отмечается прохождение соответствующих периодов: – Начального; Главного и Конечного:

- **Начальный** период предшествует сжиганию навески, калориметр отслеживает изменение температуры в сосуде и оболочке;

- **Главный** – в течение этого периода происходит сгорание навески вещества, передача выделившейся теплоты калориметрической системе и выравнивание температуры всех ее частей;

- **Конечный** – служит для учета теплообмена калориметрической системы с окружающей средой в условиях конечной температуры испытания.

Калориметр в течение начального периода отслеживает изменение температуры в сосуде и оболочке.

Начальный период заканчивается сигналом «Внимание! До поджига осталось 10 сек.».

Начало Главного периода отмечается сообщением «Внимание, поджиг», производится поджиг исследуемого вещества. После поджига в течение 30 сек. звучит тревожный сигнал. С момента начала тревожного сигнала до его окончания нельзя подходить к калориметру ближе, чем на 3 м. После зажигания образца на мониторе загорается «Условие поджига выполнено. Внимание! Идет опыт!».

Если поджиг прошел успешно, то на мониторе загорается надпись: «Главный период. Условие поджига выполнено! До конца периода осталось XXX отчетов».

При отсутствии поджига работа калориметра останавливается. На мониторе загорается «Поджиг не выполнен. Условие поджига не выполнено. Удалите бомбу».

Окончание опыта отмечается звуковым сигналом, на экране монитора загорается «Опыт завершен!».

4.4 После окончания измерения снять крышки с калориметра и вынуть бомбу из сосуда с помощью держателя.

4.5 Открыть оба клапана, выпустить продукты сгорания и разобрать бомбу.

4.6 Тщательно осмотреть внутреннюю поверхность бомбы, чашечки. При наличии сажистого налета на внутренней поверхности бомбы данное определение удельной теплоты сгорания считают недействительным и его повторяют заново. Если навеска торфа или угля при сгорании разбрасывается и частицы, попадая на дно бомбы, остаются не сгоревшими, то сжигание таких проб производят без введения воды.

При отсутствии сажистого налета внутри бомбы или несгоревшего топлива смывают содержимое крышки, корпуса и тигля в стакан дистиллированной водой. Содержимое стакана (смыв бомбы) подвергают анализу для определения массы серы, перешедшей при сжигании топлива в бомбе в серную кислоту. Допускается определение содержания общей серы в промывных водах весовым методом по ГОСТ 8606.

В малосернистом торфе массовую долю общей серы принимают равной 0,3 %.

Для продолжения работы на калориметре нажать кнопки «Новый опыт» и затем «Подготовка», загорается индикатор «Подготовка» на мониторе и «Охладить сосуд до температуры $T_{\text{со}}$. Включить охлаждение оболочки до температуры $T_{\text{обл}}$!» Охлаждение адиабатической оболочки происходит автоматически включаемым вентилятором. Охлаждение сосуда производится с помощью холодной болванки, хранящейся в холодильнике, помещаемой в калориметрический сосуд на 3–7 минут вместо бомбы. После охлаждения сосуда и оболочки до температуры $T_{\text{пред}}$ звучит сигнал и загорается сообщение «Сосуд охлажден. Установите бомбу в сосуд и нажмите кнопку «Начать опыт». Испытания продолжают.

5 Расчет опыта

5.1 Для получения результатов нажать кнопку «Рассчитать».

На экране откроется таблица «Основные результаты», соответствующая опыту по сжиганию твердого топлива рис. 4. Значения параметров ввести с клавиатуры:

- W^a – влажность аналитической массы топлива %;
- W^r – влажность рабочей массы топлива %;
- S^a – содержание серы в аналитической массе топлива %;
- H^a – содержание водорода в аналитической массе топлива %;
- α – коэффициент, учитывающий теплоту образования и растворения в воде азотной кислоты, равный 0,001 – при испытании тощих уг-

лей и антрацитов; 0,0015 – для испытания других углей, горючих сланцев и торфа.

Нажимается кнопка «Сохранить» и на мониторе появляются значения теплоты сгорания.

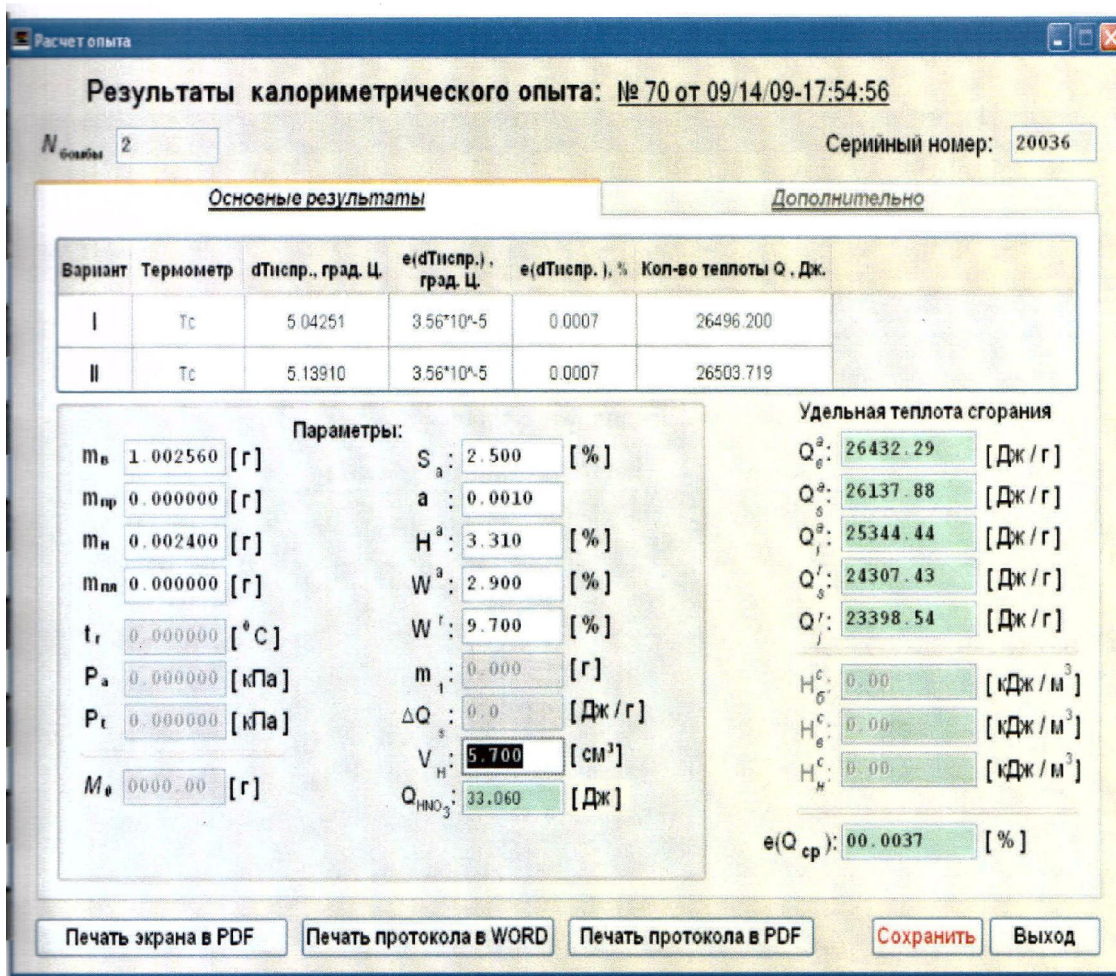


Рис. 4. Расчет опыта. Основные результаты при сжигании твердого топлива

Расчет удельной теплоты сгорания энергетических топлив по бомбе и низшей теплоты сгорания происходит автоматически. Результаты измерений выводятся на монитор, а затем заносятся в память прибора. Результаты испытания можно распечатать на принтере.

Определение удельной теплоты сгорания топлива в бомбе по каждой пробе производится по двум навескам, а за окончательный результат принимают среднее двух определений. Если полученные результаты расходятся более чем на 85 кДж/кг или 20 ккал/кг, то проводят третье определение, и за результат принимают среднее тех значений, значения которых находятся в пределах допустимых расхождений.

Определив удельную теплоту сгорания аналитической пробы топлива Q_6^a экспериментально, можно вычислить ее для абсолютно сухого топлива по формуле [1]:

$$Q_6^c = \frac{Q_6^a \cdot 100 \cdot Q}{(100 - W^a)}, \quad (2)$$

а также рассчитать высшую и низшую теплоту сгорания на рабочую массу по следующим формулам [1, 5].

5.2 Высшую теплоту сгорания рабочего топлива (Q_s^r), Дж/кг определяют по формуле:

$$Q_s^r = \frac{Q_s^a \cdot (100 - W^r)}{(100 - W^a)}, \quad (3)$$

где W^a – содержание влаги в испытуемой аналитической пробе, %; W^r – содержание влаги в рабочем топливе по испытуемой пробе, %.

5.3 Низшую теплоту сгорания пробы топлива (Q_i^r) Дж/кг, вычисляют по формуле:

$$Q_i^r = Q_s^r - 24,42 \cdot (W^r + 8,94H^r), \quad (4)$$

где 24,42 – теплота парообразования и охлаждения воды, выделившейся при сгорании топлива в калориметрической бомбе, соответствующей 1 % воды при температуре измерения 25 °С, кДж/кг; W^r – содержание влаги в рабочем топливе в испытуемой пробе, %; 8,94 – коэффициент пересчета массовой доли водорода на воду; H^r – содержание водорода в рабочем топливе, определенное по формуле (5).

5.4 Содержание водорода в рабочем топливе, % вычисляют по формуле:

$$H^r = \frac{H^a \cdot (100 - W^r)}{(100 - W^a)}, \quad (5)$$

где H^a – массовая доля водорода в аналитической пробе топлива, %.

Для торфа массовую долю водорода на сухую беззольную массу H^{daf} принимают равным 6,0 %.

5.5 Условную горючую массу (Q_b^{daf}) Дж/кг, углей и торфа рассчитывают по формуле:

$$Q_b^{daf} = \frac{100 \cdot Q_b^a}{100 - W^a - A^a}. \quad (6)$$

Результаты анализа вычисляют в Дж/кг до третьего десятичного знака, а окончательный результат округляют до второго десятичного знака.

6 Точность метода

6.1 Сходимость

Результаты двух определений, выполненных в разное время в одной и той же лаборатории одним лаборантом при использовании одной и той же аппаратуры, не должны отличаться более чем на значение, указанное в таблице 2.

Таблица 2

Допускаемые расхождения

Высшая теплота сгорания	Максимально допустимое расхождение, кДж/кг	
	Сходимость по Q_s^d	Воспроизводимость по Q_s^d
Твердое топливо	85	170
Топливо с (Q_s^d) менее 14300 кДж/кг и S^d более 4 %	120	330

6.2 Воспроизводимость

Среднее значение результатов двух определений, выполненных в двух лабораториях на представительных навесках, взятых от одной пробы, не должно отличаться более чем на значение, указанное в таблице 2.

Если расхождения между результатами двух определений превышает допустимое, проводят третье определение и за результат принимают среднее арифметическое двух наиболее близких результатов в пределах допустимых расхождений.

7 Порядок проведения эксперимента и составление отчета

7.1 Все студенты, выполняющие лабораторную работу, обязаны под роспись ознакомиться с правилами по технике безопасности и строго их выполнять.

7.2 Прежде чем приступить к работе, студенты обязаны самостоятельно ознакомиться с ее содержанием, изучить теоретический материал, относящийся к работе, выяснить цели и задачи работы, подготовить таблицы для записи наблюдений, ознакомиться с установкой и измерительной аппаратурой.

7.3 Перед началом работы преподаватель проводит предварительную беседу со студентами, после чего студенты допускаются к работе.

7.4 В ходе лабораторной работы необходимо тщательное соблюдение всех рекомендаций по ее выполнению. Результаты эксперимента представляются преподавателю для предварительного согласования.

7.5 Полученные данные и все необходимые расчеты оформляются в виде отчета [6].

7.6 Студенты, не подготовившиеся к занятию, к работе не допускаются.

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист, оформленный согласно [6].
2. Цель и задачу работы.
3. Краткое описание сущности и проведение калориметрического испытания.
4. Формулы и расчеты.
5. Выводы на основании полученных результатов.
6. Список использованной литературы.

8 Вопросы для самоподготовки

1. Перечислите теплотехнические характеристики топлива, какая из них является основной?

2. Что понимают под удельной теплотой сгорания?

3. Что является балластом в топливе и как он влияет на теплоту сгорания?

4. Какой показатель энергетической ценности топлива принято использовать при расчетах расхода топлива? Привести формулу этого показателя.

5. В чем заключается суть метода определения теплоты сгорания топлива?

6. Дайте определение и напишите формулу расчета высшей теплоты сгорания топлива.

7. Дайте определение и напишите формулу расчета высшей теплоты сгорания на рабочую массу.

8. Дайте определение условной горючей массы топлива и написать формулу расчета.

9. На какие периоды делится калориметрическое испытание? Что происходит в каждом из них?

10. Опишите порядок сборки калориметрической бомбы.

11. С какой целью на дно бомбы наливают дистиллированную воду?

12. В каких случаях топливо сжигают в виде брикета, порошка?
13. Что такое запальная проволочка и с какой целью она используется при сжигании топлива?
14. Опишите процесс брикетирования навески топлива.
15. Зачем проводится повторное калориметрическое испытание и какой результат принимается для дальнейших расчетов?
16. Дайте определение и напишите формулу расчета низшей теплоты сгорания.
17. Какие расхождения допускаются при определении теплоты сгорания? Какая должна быть воспроизводимость результатов?
18. Что выделяется при сжигании топлива? По какому признаку определяют успешное проведение опыта?
19. С какой целью на дно тигля укладывается слой асбеста? Какие условия необходимо соблюдать при проведении калориметрического эксперимента?
20. Что такое энергетический эквивалент? Сущность определения энергетического эквивалента.

9 Меры безопасности

В связи с тем, что сжигание топлива в калориметрической бомбе производится в кислородной среде при давлении 29,4 МПа (30 кгс/см), при работе с калориметром необходимо тщательно соблюдать следующие правила:

1. К работе с калориметром АБК-1 допускаются лица, ознакомленные с общими правилами техники безопасности, относящимися к обращению с кислородными баллонами.
2. При работе с кислородными баллонами и калориметрической бомбой необходимо соблюдать «Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [7].
3. Запрещается работать с калориметром при отсутствии заземления.
4. Нельзя наклоняться над калориметром в момент проведения измерений и приближаться к калориметру при тревожном сигнале «Поджиг».
5. После сжигания топлива в бомбе и окончания калориметрического эксперимента газ из бомбы следует выпускать постепенно, плавно открывая отверстие любого из клапанов.
6. Запрещается хранить в испытательном помещении техническое масло и другие жировые вещества.

Список литературы

1. Белосельский Б.С., Вдовченко В.С. Контроль твердого топлива на электростанциях / Белосельский Б.С., Вдовченко В.С. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 121 с.
2. ГОСТ 147-95. Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. – М.: Изд. Стандартов, 1996. – 46 с.
3. Техническое описание и руководство по эксплуатации. Калориметр бомбовый АБК-1. – М.: Изд. стандартов, 2009. – 38 с.
4. ГОСТ 10742-71. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний. – М.: Изд. Стандартов, 2002. – 20 с.
5. Тепловой расчет котлов: (Нормативный метод). 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
6. СТО ТПУ 2.3.05-2006. Занятия лабораторные. Общие требования к организации и проведению.
7. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Определение энергетического эквивалента калориметра

Перед вводом калориметра в эксплуатацию необходимо определить энергетический эквивалент калориметра [2].

Метод определения энергетического эквивалента основан на сжигании навески стандартного вещества – бензойной кислоты с аттестованной теплотой сгорания в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода. Энергетический эквивалент вычисляется по отношению количества теплоты, выделившейся при сгорании бензойной кислоты, к изменению исправленной температуры калориметрического сосуда. Полученный энергетический эквивалент используют в расчетах при определении удельной теплоты сгорания твердого топлива.

Для определения энергетического эквивалента выполняют следующие операции:

- бензойную кислоту просушить в эксикаторе в открытом бюксе над пятиокисью фосфора в течение 24 часов;
- приготовить 6 брикетов бензойной кислоты с помощью пресса. Масса каждого брикета должна быть в пределах от 1,010 г;
- приготовленные брикеты поместить в эксикатор в открытом бюксе и выдержать их над пятиокисью фосфора не менее 3-х суток;
- взвесить брикет бензойной кислоты с погрешностью не более 0,2 мг;
- поместить тигель с брикетом бензойной кислоты в кольцо держателя бомбы. Конец запальной проволоки продеть через отверстие в брикете, затем оба конца проволоки закрепить на электродах и прижать между гайками;
- налить 1 см³ дистиллированной воды в крышку бомбы;
- установить крышку в подставку и завинтить стакан бомбы;
- закрыть оба клапана у бомбы и с помощью кислородопроводящей трубки присоединить к УЗК для наполнения бомбы кислородом. Наполнение проводить следует медленно в течение 1–2 минут до давления 2,94 МПа (30 атм);
- закрыть клапан. Усилия не прилагать!;
- с помощью держателя установить бомбу в сосуд и закрыть сосуд и оболочку крышками;
- после окончания измерения снять крышки с калориметра и вынимают бомбу из сосуда с помощью держателя;

- открыть один из клапанов и выпустить продукты сгорания, бомбу разобрать;
- при отсутствии сажистого налета внутри бомбы или несгоревшей бензойной кислоты смыть содержимое крышки, корпуса и тигля в стакан дистиллированной водой;
- добавить в раствор 2 капли метилового красного и титровать 0,1N раствором гидроксида калия или натрия. Измерить объем раствора гидроксида калия или натрия, израсходованный на титрование, с целью определения поправки на образование азотной кислоты, образующейся при окислении азота, содержащегося в кислороде, взятом для сжигания бензойной кислоты.

Ввести с помощью клавиатуры значение V_n (см³), нажать кнопку «Сохранить» и на мониторе появится значение C_1 (Дж/°С), пересчитанные с поправкой на теплоту образования HNO_3 .

Внутреннюю поверхность калориметрической бомбы и ее детали вытереть и, не закрывая клапанов, оставить до последующего опыта с осушающим реактивом на дне калориметрической бомбы.

Если внутри бомбы имеются вкрапления сажи или несгоревшая бензойная кислота, результат считается не действительным.

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлениям 141100 «Энергетическое машиностроение», 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» и для магистрантов V–VI курсов, обучающихся по направлению 141100 «Энергетическое машиностроение»

Составитель
НИКОЛАЕВА Валентина Ивановна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru