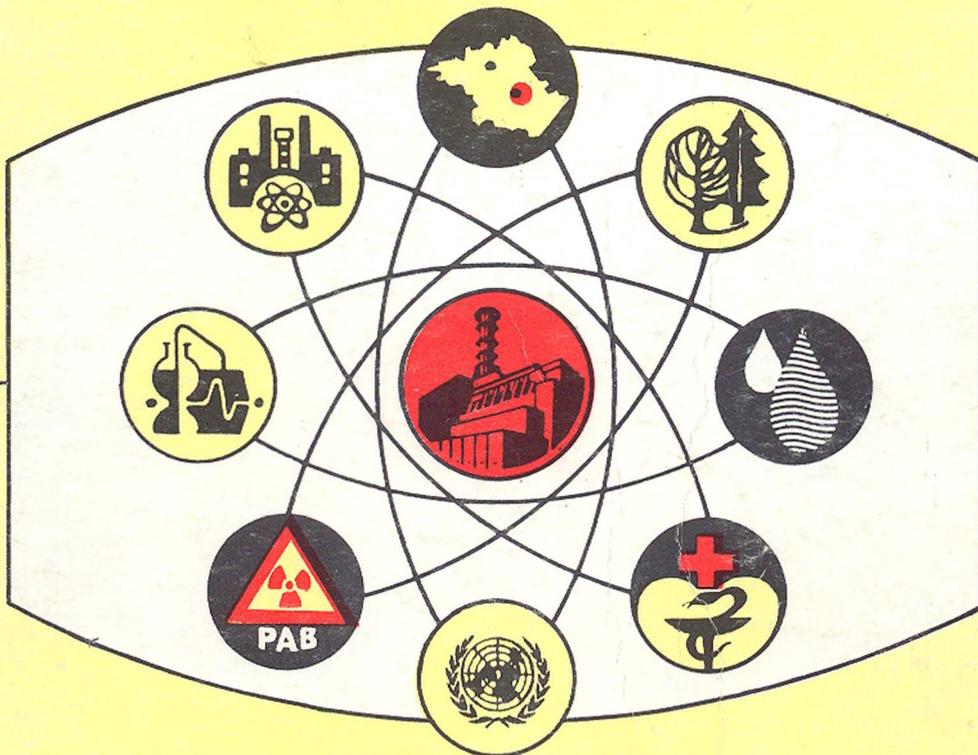


МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ  
СИТУАЦІЙ ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД  
НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
АДМІНІСТРАЦІЯ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ І ЗОНИ БЕЗУМОВНОГО  
(ОБОВ'ЯЗКОВОГО) ВІДСЕЛЕННЯ

THE MINISTRY OF UKRAINE OF EMERGENCIES AND AFFAIRS  
OF POPULATION PROTECTION FROM THE CONSEQUENCES  
OF CHERNOBYL CATASTROPHE  
THE ADMINISTRATION OF THE EXCLUSION ZONE AND THE ZONE  
OF ABSOLUTE RESETTLEMENT



# ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

## PROBLEMS OF CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

5

Т. Г. Грищенко, Л. В. Декуша, Г. П. Гринченко,  
Л. И. Воробьев, А. Г. Мазуренко

### МИКРОКАЛОРИМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАСС

Для решения задач по выявлению и всестороннему исследованию мест скопления ядерного топлива на объекте "Укрытие" разработан новый уникальный дифференциальный микрокалориметр кондуктивного типа с использованием первичных измерительных термоэлектрических преобразователей теплового потока. Описаны метод измерения и устройство микрокалориметра, приведены результаты исследования его погрешностей.

Для преобразования зоны объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему необходима достоверная информация о происходящих там физических процессах. В большинстве случаев существенной характеристикой физических процессов являются тепловые параметры, в связи с чем тепловые измерения сопровождают практически все исследования, выполняемые на объекте "Укрытие", под которым понимается совокупность сооружений, закрывающих радиоактивные материалы [1].

К ряду важнейших научно-практических задач, решаемых на объекте "Укрытие", относятся выявление и всестороннее исследование мест скопления ядерного топлива, которое из разрушенной активной зоны распределено по помещениям объекта "Укрытие" в виде фрагментов активной зоны, мелкодиспергированной высокоактивной топливной пыли и топливосодержащих застывших масс (ТСМ) [1]. Результаты этих исследований используют при уточнении количества ядерного топлива, оставшегося в объекте "Укрытие", и для разработки рациональных способов преобразования ТСМ для надежного длительного захоронения.

С начала (июнь 1986 г.) систематических исследований аварийного четвертого энергоблока ЧАЭС применяются тепловые методы оперативной оценки мест локализации ТСМ, основанные на использовании первичных преобразователей теплового потока (ППП) [2]. Установлено, что ядерное топливо находится в основном в составе застывших лавообразных скоплений, сосредоточенных в шахте реактора и прилегающих к ней подреакторных помещениях. Встречаются также пемзообразные ТСМ, удельный вес которых менее  $1 \text{ г/см}^3$ , и шлакообразные ТСМ, занимающие промежуточное положение между первыми и вторыми по удельному весу. В исследованных образцах топливо находится в виде мелкодисперсных частиц, вкрапленных в силикатную матрицу. Количество топлива в различных образцах ТСМ неодинаково, в отдельных образцах достигает 60 % массы при среднем содержании около 10 %.

Тепловой эффект ядерного топлива определяется в настоящее время распадом долгоживущих радионуклидов и составляет по оценочным расчетам величину порядка 3 Вт на 1 т ядерного топлива при условии, что все виды радиационного излучения поглощаются в образце.

Экспериментальное определение столь малых значений мощности тепловыделения ТСМ представляет собой сложную техническую задачу, требующую применения высокочувствительного инструмента для

© Т. Г. Грищенко, Л. В. Декуша, Г. П. Гринченко, Л. И. Воробьев, А. Г. Мазуренко, 1998

измерения теплового потока в предполагаемом диапазоне значений  $10^{-4}$ —1 Вт. Эта задача осложнена также тем, что исследуемые образцы ТСМ радиоактивны и мощность дозы гамма-излучения, как правило, составляет десятки бэр/ч.

Успехи в развитии теплотрии в Украине [2—5] и опыт применения ПТП при исследовании тепловых процессов и эффектов

в условиях повышенной радиации позволили разработать новое средство измерения мощности тепловыделения ТСМ микрокалориметр модели ДМК-1 (рис. 1), созданный в НАН Украины в рамках научно-исследовательской работы по техническому заданию МНТЦ “Укрытие”.

Для обеспечения высокой чувствительности и необходимой точности измерения теплового эффекта в диапазоне значений  $10^{-4}$ —1 Вт при квазистационарном процессе выбран дифференциальный метод измерения при использовании калориметра кондуктивного типа с применением термоэлектрического ПТП в виде вспомогательной стенки [2, 6, 7].

При использовании двух включенных по дифференциальной схеме ПТП, установленных в рабочей ячейке и ячейке сравнения, увеличивается точность калориметрических измерений, что позволяет выделить полезную часть измерительной информации. В этом случае искомая мощность тепловыделения образца, помещенного в рабочую ячейку, определяется по результатам измерения дифференциального сигнала двух ПТП:

$$W = k e,$$

где  $k$  — градуировочный коэффициент микрокалориметра,  $e$  — дифференциальный сигнал ПТП.

Микрокалориметр представляет собой автоматизированную измерительную установку, в комплект которой входят специализированные тепловой и электронный блоки, стандартный измеритель напряжения постоянного тока и ПЭВМ для обработки измерительной информации и представления ее в форме, удобной для восприятия и документирования. Структурная схема установки приведена на рис. 2, а конструктивная схема теплового блока — на рис. 3.

Тепловой блок (собственно микрокалориметр) является основным элементом установки. Он представляет собой конструкцию, содержащую две идентичные измерительные ячейки (1 и 2), смонтированные в двух осесимметричных цилиндрической формы гнездах массивного калориметрического блока 3, выполненного из дуралюмина. Дном каждого из гнезд является нижняя крышка 4, снабженная теплоизоляционным вкладышем 5. Для измерений в ячейках 1 и 2 с помощью спе-

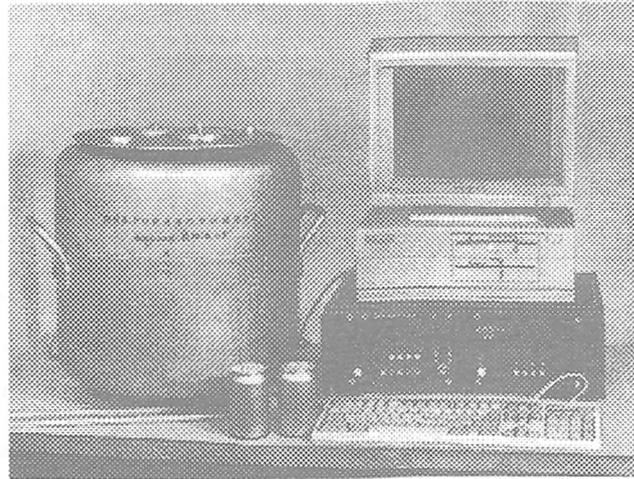


Рис. 1. Внешний вид микрокалориметра

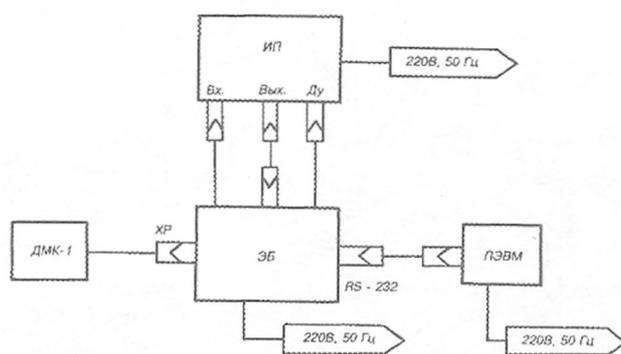


Рис. 2. Структурная схема микрокалориметра:

ДМК-1 — тепловой блок; ЭБ — электронный блок; ИП — измерительный прибор; ПЭВМ — персональная электронная вычислительная машина; ХР — разъемы

циального загрузочного приспособления устанавливают контейнеры, при этом в рабочую ячейку 1 помещают контейнер 6 с образцом ТСМ, а в ячейку сравнения 2 — контейнер 7, пустой или заполненный нейтральным веществом, теплоемкость которого близка теплоемкости исследуемого материала. После уста-

новки контейнеров обе ячейки герметизируют притертými крышками 8 и закрывают крышками 9 с теплоизолирующими вкладышами 10.

Калориметрический блок 3, окруженный высокоэффективным теплоизолирующим материалом 18, помещен в корпус 11, снабженный крышкой 14, тремя опорами 12 и двумя ручками 13 для транспортирования. В верхней части крышки 14 корпуса 11 смонтирована панель 15,

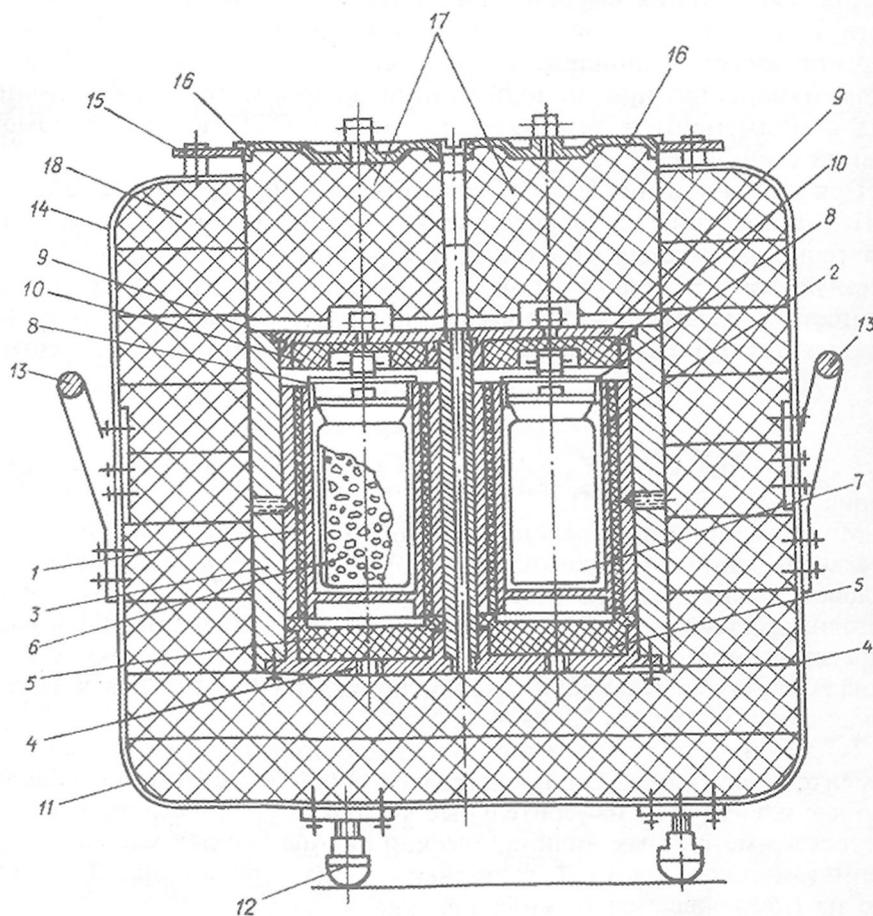


Рис. 3. Конструктивная схема теплового блока микрокалориметра

загрузочные отверстия в которой закрывают крышками 16, также снабженными теплоизолирующими пробками 17.

Каждая из двух измерительных ячеек (рис. 4) представляет собой полую цилиндрическую конструкцию, состоящую из расположенных аксиально тонкостенного стакана 5 и цилиндра 4, также изготовленных из дуралюмина. В канавках резьбы по наружной поверхности цилиндра заподлицо с ней смонтирован электронагреватель 2, используемый при градуировке микрокалориметра в качестве источника нормированной мощности тепловыделения. Нагреватели 2 обеих ячеек скоммутированы по четырехпроводной схеме и имеют два токовых провода для подачи питания от источника постоянного тока и два потенциальных — для измерения подводимой мощности.

В зазор между стаканом 5 и цилиндром 4 вмонтирована цилиндрическая теплотметрическая оболочка 3, толщина которой равна ширине зазора. Теплотметрическая оболочка состоит из батареи гальванических термоэлементов, соединенных последовательно по электрическому сигналу и параллельно по тепловому потоку. Батареи термоэлементов обеих ячеек, электрически включены навстречу друг другу и представляют собой первичный измерительный ПТП микрокалориметра, сигнал которого пропорционален мощности тепловыделения образца, находящегося в рабочей ячейке 1 (см. рис. 3).

Для проведения исследований микрокалориметр укомплектован специальными контейнерами, внутрь которых помещают исследуемые образцы. Контейнеры изготовлены двух типов. Первый — представляет собой тонкостенный цилиндрический сосуд емкостью 330 см<sup>3</sup> из алюминиевого сплава, горловина сосуда завальцована во фланец и закрывается крышкой; на внешней стороне крышки имеется направляющая под приспособление для переноски, загрузки и извлечения контейнера из измерительной ячейки микрокалориметра; масса контейнера не превышает 0,2 кг. Контейнер второго типа для исследования тепловыделений высокорadioактивных образцов ТСМ дополнительно снабжен поглощающей свинцовой оболочкой. При массе контейнера до 3,2 кг его полезная емкость составляет 85 см<sup>3</sup>.

Для контроля температуры микрокалориметра использован платиновый термометр сопротивления (ТС), установленный в осевом сверлении калориметрического блока 3 (см. рис. 3). ТС подключен к измерительному прибору по четырехпроводной схеме.

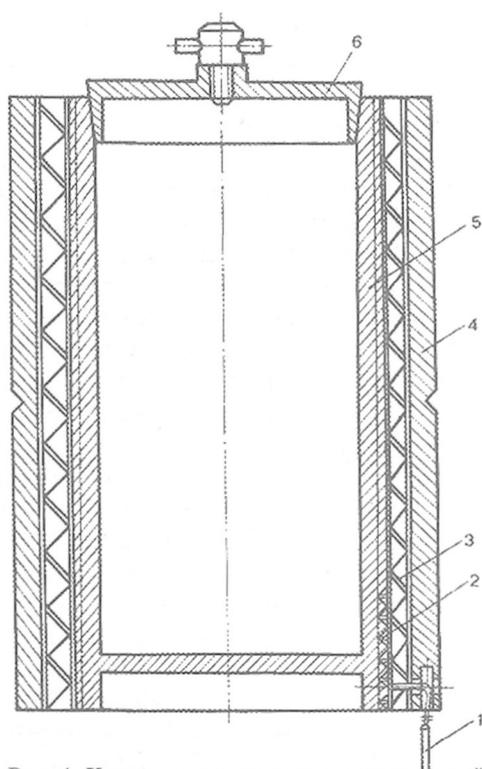


Рис. 4. Конструктивная схема измерительной ячейки:

1 — жгут коммуникационных проводов; 2 — электронагреватель; 3 — теплотметрическая оболочка; 4 — цилиндр; 5 — стакан; 6 — крышка

Для измерения сигналов ПТП и ТС в калориметрической установке использован универсальный цифровой вольтметр Ф4834.

Специализированный электронный блок предназначен для коммутации измеряемых сигналов первичных преобразователей микрокалориметра (ПТП и ТС) и преобразования параллельного двоично-десятичного выходного кода цифрового вольтметра в последовательные сигналы интерфейса RS-232C с целью передачи их на ПЭВМ. Он содержит коммутатор измеряемых сигналов; источник тока, необходимый для измерения температуры термометр сопротивления; кварцевый генератор синхронизации частоты передачи информации; преобразователь кода и источник питания. Электронный блок выполнен с использованием интегральных микросхем К555 и К561 и герконовых реле РЭС 44 для коммутации измерительных сигналов.

Коммутатор содержит 4 канала (0 — сигнал ПТП; 1 — напряжение на ТС; 2 — напряжение на образцовом резисторе; 3 — служебный, используемый при контроле нуля вольтметра), последовательно подключаемые к вольтметру. Передаваемая по интерфейсу RS-232C информация содержит восемь символов, передаваемых в следующей последовательности: 1 — номер канала “0”, “1”, “2”, или “3”; 2 — знак “+” или “-”; 3, ..., 7 — цифровая информация с вольтметра; 8 — пробел. Скорость передачи информации — 2400 бит/с; число информационных бит — 8; стоп-бит — 2; контроль четности отсутствует; коды соответствуют ASCII. Электронный блок выполнен в конструктиве агрегатного комплекса средств электронно-измерительной техники АСЭТ (рис. 5).

Описанный микрокалориметр перед передачей в МНТЦ “Укрытие” метрологически аттестован в установленном порядке [8]. При этом метрологические характеристики микрокалориметра исследованы методом сравнения с мерой. Этот метод заключается в том, что результат измерений мощности тепловыделения посредством микрокалориметра сравнивают со значением этой же мощности тепловыделения, полученным по показаниям образцовых средств измерения, в качестве которых использованы универсальные цифровые приборы Щ68002 и Щ68003, погрешности которых регламентированы в их паспортах.

Метрологические характеристики исследовались путем многократных наблюдений в нескольких точках рабочего диапазона измеряемых значений мощности тепловыделения, это позволило установить, что в диапазоне  $5 \cdot 10^{-3}$ —2 Вт предел основной относительной погрешности измерения не превышает 2 %; в диапазоне  $10^{-5}$  —  $5 \cdot 10^{-3}$  погрешность достигает 12,8 % и стремительно возрастает при приближении к

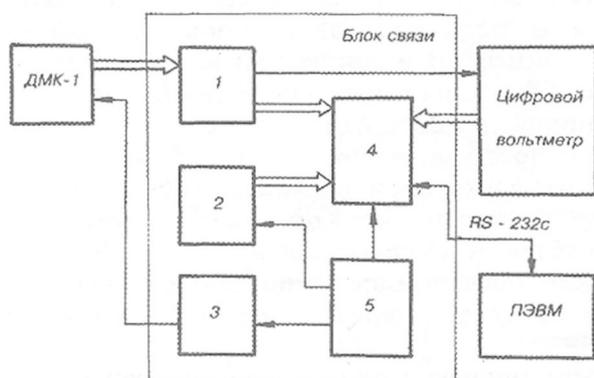


Рис. 5. Функциональная схема электронного блока:

1 — коммутатор измеряемых сигналов; 2 — генератор синхронизации; 3 — источник тока; 4 — преобразователь кода; 5 — источник питания

кратных наблюдений в нескольких точках рабочего диапазона измеряемых значений мощности тепловыделения, это позволило установить, что в диапазоне  $5 \cdot 10^{-3}$ —2 Вт предел основной относительной погрешности измерения не превышает 2 %; в диапазоне  $10^{-5}$  —  $5 \cdot 10^{-3}$  погрешность достигает 12,8 % и стремительно возрастает при приближении к

левому пределу заданного диапазона. Причина этого заключена в недостаточной чувствительности вольтметра Ф4834. Замена его на вольтметр Ш300 позволила обеспечить предельно допустимую относительную погрешность измерения мощности тепловыделения в диапазонах  $10^{-3}$  — 2 Вт — 1,5 %, а  $10^{-5}$  —  $10^{-3}$  Вт — не хуже 5,5 % при одноциклической методике измерений и 2 % при полициклической методике.

Таким образом, в Украине создан новый микрокалориметр, позволяющий исследовать большой объем вещества, который по достигнутой чувствительности к измеряемому параметру является уникальным нестандартизованным средством измерения.

1. *Описание объекта "Укрытие" и требования к его преобразованию* // Минчернобыль Украины: Исходные данные для выполнения конкурсной работы на проект и технические решения по преобразованию объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС в экологически безопасную систему. — Киев: Наук. думка, 1992. — 50 с.
2. *Герашенко О. А.* Основы теплотрии. — Киев: Наук. думка, 1971. — 192 с.
3. *Грищенко Т. Г., Декуша Л. В.* Первичные преобразователи теплового потока // Мера-90: Докл. междунар. конф. с выставкой. — М., 1990. — Ч. III. — С. 335—346.
4. *Герашенко О. А., Грищенко Т. Г., Декуша Л. В.* Методика конструирования оптимальных преобразователей теплового потока // Проблемы энергосбережения. 1990. — Вып. 3. — С. 36—42.
5. *Приборы для теплофизических измерений: Каталог* / Ин-т проблем энергосбережения; Сост. О. А. Герашенко, Т. Г. Грищенко — Час, 1991. — 56 с.
6. *Кальве Э., Прат А.* Микрокалориметрия. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. — 478 с.
7. *Хемингер В., Хене Г.* Калориметрия, теория и практика (Пер. с англ.). — М.: Химия, 1989. — 176 с.
8. *ГОСТ 8.325-89 ГСИ.* Метрологическая аттестация средств измерений. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 13 с.

Институт проблем энергосбережения  
НАН Украины, Киев

Поступила 10.12.96