

його кристалізацією – підготовкою до наступного робочого циклу - у технологічній інструкції до проєктованого температурного репера з евтектичним сплавом як робочою речовиною.

1. Прохоренко С., Стадник Б., Войтурський Я. *Попередні результати апробації температурного репера на базі In-Ga-Sn евтектики // Збірка праць*

конференції “ТЕМПЕРАТУРА” Львів, 2003. – (у друці 2003.) 2. Ганина Н.И., Захаров А.М., Олейникова В.Г., Петрова Л.А. Диаграммы состояния металлических систем. – М., 1991. 3. McNaughton, Mortimer C.T. Differential Scanning Calorimetry. IRS; Physical Chemistry Series 2, Volume 10. 1975. London: Butterworths (Norwalk: reprinted by Perkin-Elmer Corp).

УДК 536.6.65

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЗРУЙНОВАНОГО РЕАКТОРА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

© Тетяна Грищенко, Леонід Декуша, 2003

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, 03057, Київ, Україна

Розглянуто теплофізичні прилади, що використовувались в роботах із діагностики зруйнованого реактора Чорнобильської АЕС для оперативного контролю теплових параметрів й теплофізичних характеристик об'єкта в екстремальних умовах.

Представлена гамма теплофизических приборов, которые использовались в работах по диагностике разрушенного реактора Чернобыльской АЭС для оперативного контроля тепловых параметров и теплофизических характеристик объекта в экстремальных условиях.

The scale of thermal physical devices which were used in diagnostic works on the destroyed reactor of the Chernobyl atomic power station for the operative control of thermal parameters and thermal physical characteristics of the object in extreme conditions is submitted.

Під час ліквідації наслідків аварії на четвертому блоці Чорнобильської АЕС істотне місце займали роботи, спрямовані на одержання достовірної вимірювальної інформації про потужність іонізаційного випромінювання й теплові параметри зруйнованого енергоблока. До організації вимірювань, а також до розробки і виготовлення пристроїв і приладів для вимірювання теплових потоків і температур в умовах зруйнованого ядерного реактора було залучено відділ теплотрії Інституту технічної теплофізики АН УРСР під керівництвом чл.-кор. АН УРСР О.А. Герашенка. Вирішити це завдання потрібно було в стислі, жорстко регламентовані строки з урахуванням складних обставин:

– наявності у шахті реактора розпечених мас і високого рівня радіації над шахтою;

– значного руйнування будівлі четвертого блока ЧАЕС, завалів внутрішніх приміщень і високого рівня радіоактивності навіть на далеких підступах до найважливіших місць аварійного блока;

– відсутності штатних засобів контролю внаслідок їхнього руйнування;

– недоступності для персоналу вимірювальних комунікацій детекторів, що, можливо, збереглися.

Виходячи з цього, штабом Інституту атомної енергії ім. І.В. Курчатова (ІАЕ) з ліквідації наслідків аварії на початку травня було визначено основні напрямки діагностичного обстеження й організації оперативного контролю стану аварійного блока, затверджені пізніше рішеннями Урядової комісії:

– дозиметрична й візуальна розвідки та технічна зйомка всередині аварійного блока і зверху за допомогою вертольотів;

– вимірювання фізичних параметрів, що визначали тепловий і радіаційний стани аварійного реактора в доступних приміщеннях і конструкціях реакторного блока, що збереглися, і на поверхні засипання реактора, створення і використання необхідних для цього засобів і методів доставки детекторів;

– розробка та застосування нових спеціальних методів і засобів дистанційного контролю й діагностики, ефективних в умовах ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, що склались.

Дозиметрична та візуальна розвідки велися для оцінки ступеня руйнування будівлі і конструкцій реактора четвертого блока, визначення рівня радіації в зоні, що безпосередньо прилягає до аварійного реактора, вибору місць встановлення детекторів контролю і визначення зон можливого розміщення ядерного палива і продуктів розпаду, що залишилися в аварійному реакторі. Ця розвідка виконувалася в надзвичайно важких умовах, що характеризувались одночасно наявністю іонізуючого випромінювання високого рівня (більше ніж 1000 Р/годину), різких градієнтів полів випромінювання, великим радіоактивним аерозольним забрудненням середовища, а також поганою видимістю й обмеженими можливостями пересування через пошкодження будівельних конструкцій і утворені завали. В умовах практичної відсутності робототехнічних засобів для діагностичної розвідки в кожному конкретному випадку вимірювань використовувалися спеціально виготовлені засоби: візки, телескопічні штанги, “вудки”, свердловинні термотеплозонди та інше.

На основі виконання комплексу робіт з дозиметричної та візуальної розвідок було складено атласи дозувальної обстановки в усіх доступних приміщеннях аварійного блока та визначено порівняно безпечні підходи до найважливіших вузлів аварійного реактора і місць очікуваного розміщення викинутого палива.

Відразу ж після визначення доступних приміщень і можливих шляхів, методів і засобів доставки детекторів у зону, що прилягає до шахти реактора, було розпочато роботи зі створення системи оперативного контролю фізичних параметрів, що зумовлюють тепловий і радіоактивний стан аварійного реактора. До цього періоду (кінець травня – початок червня 1986 р.) у відділі теплометрії ІТТФ було вже розроблено і виготовлено кілька моделей тепломірів – перетворювачів теплового потоку (далі – ПТП) термоелектричного типу, виконаних у вигляді допоміжної стінки [1], що складається з батареї диференціальних гальванічних термоелементів, увімкнутих паралельно за вимірюваним тепловим потоком і послідовно за електричним сигналом, який генерується. Деякі з цих моделей наведені на рис. 1.

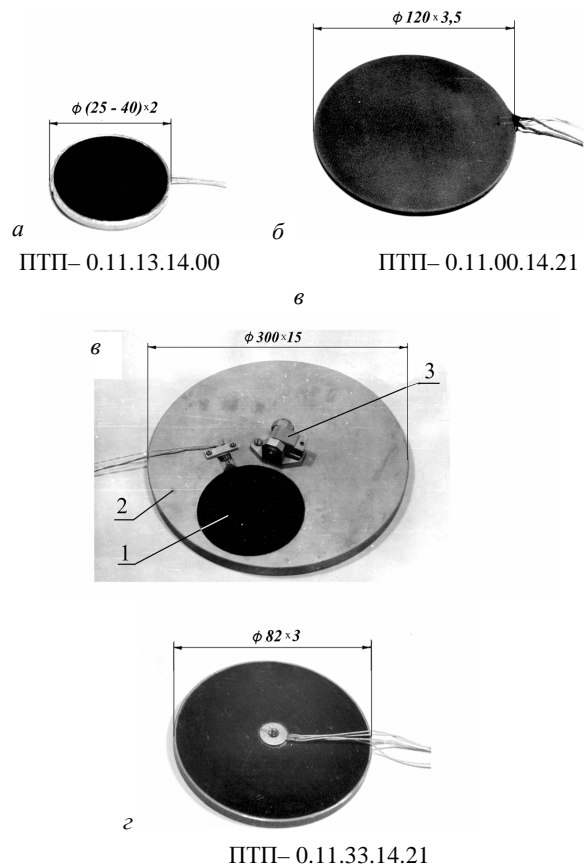


Рис. 1. Моделі ПТП, використані для діагностики теплового стану зруйнованого 4-го енергоблока ЧАЕС:
1 – ПТП, 2 – диск-основа, 3 – кріплення

Незважаючи на те, що колектив відділу теплометрії вже тоді мав достатній досвід у розробках і виготовленні різних ПТП і приладів на їх основі, які широко застосовувались у багатьох галузях науки й техніки [2], у чорнобильських обставинах довелося вирішувати абсолютно нові проблеми. Так, на станції ПТП повинні були знаходитись на відстані 800–1000 м від приміщення, де розташовувалась реєструвальна апаратура, у зв'язку з чим були можливі великі перешкоди, які впливають на покази приладів. Тому необхідно було створити перетворювачі не тільки потужні за сигналом, але й такі, що тривалий час зберігали б високу чутливість.

Одну з моделей ПТП (див. рис. 1, а) було призначено для кріплення на стінках та поверхнях огорожувальних конструкцій у збережених приміщеннях четвертого блока. Доставляли та встановлювали ПТП у задані точки засоби робототехніки й добровольці-“бійці”.

Для очікуваних значень густин теплового потоку від 102 до 104 Вт/м² і за наявності великих теплових

перешкод бажано було б отримати сигнал ПТП у кілька одиниць вольтів, тобто чутливість повинна становити від 1 до 10 м²/Вт, що і було досягнуто. Сигнали-ПТП надходили на реєструвальну апаратуру за кабельним зв'язком. Перші ПТП, наклеєні на стіни барботера, дали першу об'єктивну інформацію про тепловий бік процесів, які відбувались.

Практика вимірювань теплових потоків у зоні аварії упродовж 1986 р. показала, що теплометричні засоби зручні для одержання діагностичної інформації, і дала змогу уточнити вимоги до вихідних параметрів ПТП. Для моніторингу знадобилося більше ніж 300 ПТП із різними технічними характеристиками. Їх безперервно виготовляли і встановлювали на об'єктах у зоні зруйнованого реактора.

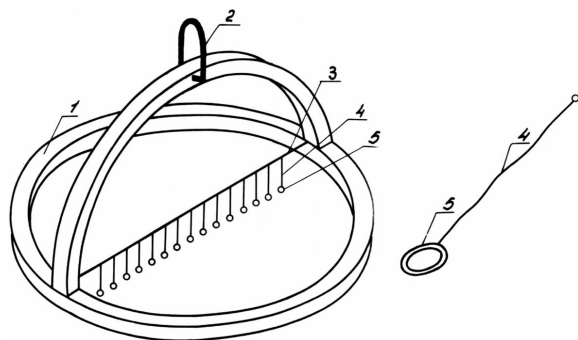


Рис. 2. Термозонд для визначення температури поверхні розвалу четвертого блока ЧАЕС: 1 – алюмінієвий каркас, 2 – серга, 3 – тросик, 4 – повідець, 5 – плавке кільце

Для контролю температури поверхні розвалу у відділі теплометрії було створено спеціальний термометричний буй-термозонд [3], зовнішній вигляд якого показано на рис. 2.

Як термометричне явище вибрано залежність температури плавлення сплавів від їх якісного й кількісного складу. Термозонд складався з алюмінієвого каркасу 1, на якому була закріплена серга 2 під вертолїтний фал і кріпильний тросик 3 з підвішеними на повідцях 4 вісімнадцятьма плавкими кільцями 5. Кільця були виготовлені із сплавів різного складу, що забезпечують індикацію температури в діапазоні значень 30÷330°С з кроком від 6 до 24 К (див. таблицю). Температура в зоні зондування визначалася за значенням, що знаходиться в інтервалі між значеннями температур плавлення останнього розплавленого і першого збереженого кільця, встановлених під час огляду після добування термозонда з контрольованої зони.

Для доставки різних засобів вимірювань у зону зруйнованого реактора використовувалися вертольоти та будівельно-монтажний кран "ДЕМАГ". Різні пристрої – носії первинних перетворювачів – розроблялися в ІАЕ та ІТТФ паралельно. В ІТТФ було розроблено дві моделі та виготовлено по одному екземпляру буйів для доставки засобів вимірювання температури і теплового потоку в актуальні зони. Найдосконалішою виявилася друга модель, зовнішній вигляд якої наведено на рис. 3.

Склад (масова частка, %) сплавів й температура плавлення

Температура повного розплаву, °С	Свинець	Олово	Кадмій	Галій	Вісмут	Індій	Сурма
27	–	–	–	100	–	–	–
46	22,4	10,8	8,2	–	40,6	18	–
60	25	12,5	12,5	–	50	–	–
70	17,9	24,5	12,3	–	45,3	–	–
80	35,1	20,1	9,5	–	35,3	–	–
94	25	25	–	–	50	–	–
100	40	10	–	–	50	–	–
110	22	22	–	–	56	–	–
125	43,5	–	–	–	56,5	–	–
144	40	–	–	–	60	–	–
150	16	17	–	–	67	–	–
160	30	45	–	–	–	25	–
180	37,5	37,5	–	–	–	25	–
190	39,5	60	–	–	–	–	0,5
240	64,5	30,5	–	–	–	5	–
260	85	10	5	–	–	–	–
286	79,9	2,6	17,5	–	–	–	–
327	100	–	–	–	–	–	–

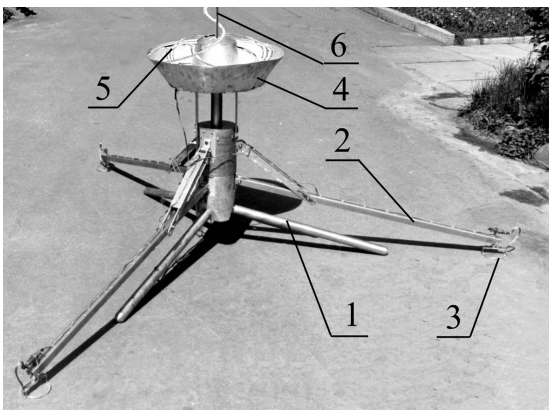


Рис. 3. Діагностичний буй ІТТФ: 1 – опори; 2 – штанги-тримачі ПТП; 3 – ПТП у кільці; 4 – фланець “сомбреро”; 5 – кабель; 6 – сталевий дріт

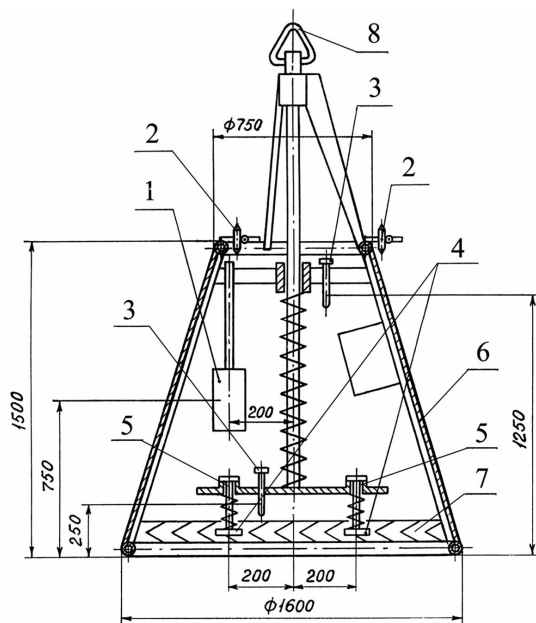


Рис. 4. Конструктивна схема діагностичного буя ІАЕ: 1 – іонізаційна гамма-камера; 2 – термоанемометри; 3 – термометри опору мідні; 4 – ПТП з нікелевим термометром опору; 5 – підпружинений стрижень з ПТП; 6 – кожух; 7 – основа із свинцевих злитків; 8 – кільце під вертолітний фал

Цей буй являв собою шарнірну конструкцію, виконану з алюмінієвого сплаву, із трьома рознесеними під кутом 120° штангами-тримачами ПТП, що укріплені в кільцях, підвішених за допомогою карданної підвіски. Буй мав зверху профільований фланець типу "сомбреро" для розміщення в ньому вимірювального кабелю завдовжки 100 м, закріпленого на сталевому гартованому дроті для укладання кабелю кільцями. Буй

був обладнаний сергою для кріплення до транспортного фала. Хоча обидва екземпляри діагностичних буїв ІТТФ було доставлено в Чорнобиль, проте масово скидалися на розвал діагностичні буї ІАЕ. Буї ІАЕ були універсальними, тому що містили близько двадцяти первинних перетворювачів температури, швидкості вітру, густини теплового потоку й гамма-випромінювання. Буй являв собою металеву конструкцію у вигляді порожнього усіченого конуса, конструктивну схему якого показано на рис. 4.

Кожний буй повинен видавати інформацію про вимірювання таких параметрів:

- потужності дози гамма-випромінювання іонізаційною камерою 1 (див. рис. 4);

- швидкості повітря у двох взаємно перпендикулярних напрямках (горизонтальному й вертикальному, якщо буй після скидання встановлювався на поверхні розвалу без нахилу) за допомогою трьох стандартних анемометрів 2, розташованих у верхній частині буя по колу через 120° , причому в кожній парі один прилад у горизонтальному компонуванні, а другий – у вертикальному;

- температури повітря трьома термометрами опору, розміщеними на анемометрах горизонтального компонування і двома автономними мідними термометрами опору 3, встановленими усередині буя у верхньому і нижньому перерізах;

- густини теплового потоку від поверхні розвалу в місці встановлення буя та її температури за допомогою комбінованого ПТП 4 розробки ІТТФ.

У кожному ПТП, зовнішній вигляд якого показано на рис. 1, б, вмонтовано нікелевий термометр опору, покази якого не залежать від рівня радіації. У буї монтували від двох до трьох таких ПТП, підвішених на спеціальному механізмі 5 (рис. 4), що вводив їх у контакт із поверхнею розвалу після ослаблення фала, на якому буй був підвішений до вертольота. Без цього механізму ПТП були б зірвані під час приземлення.

У нижній частині конуса для додавання стійкості буя під час приземлення змонтовано масивну основу 7 (рис. 4) зі свинцевих злитків. Габаритні розміри буя $\varnothing 1600 \times 2200$ мм. Сигнали всіх перетворювачів за кабелем зв'язку завдовжки 120 м надходили на вимірювально-реєструвальну апаратуру. Аеродинамічні властивості конструкції буя забезпечили надійне прицільне встановлення десяти таких пристроїв на дуже складну в топографічному відношенні поверхню

засипання аварійного реактора за допомогою вертольота. У ході робіт для підвищення точності прицільного встановлення наступних п'яти буїв було реалізовано і здійснено нову технологію встановлення їх за допомогою будівельно-монтажного крана "ДЕМАГ". Кілька буїв з доставлених на розвал четвертого блока були, за рекомендацією О.А. Геращенка, скинуті без зовнішнього кожуха б, наявність якого істотно впливала на покази термометрів опору, що стоять всередині буя. На рис. 5 показано окремі буї, доставлені на розвал четвертого блока ЧАЕС.

На жаль, багато первинних перетворювачів, встановлених в буях, спочатку під час транспортування, а потім у важких температурних і радіаційних умовах зруйнованого енергоблока виходили з ладу ще до з'єднання кабельних роз'ємів. Перетворювачі температури і теплового потоку, як правило, працювали безвідмовно. Збої в роботі відбувалися внаслідок порушення вимірювального ланцюга при встановленні (рідко) і експлуатації в умовах метушні і неузгодженості дій багатьох різних організацій, що працювали в небезпечній зоні. Виявилось, що з п'ятнадцяти скинутих буїв вдалося приєднати до інформаційно-вимірювальної системи чотирнадцять, і за їхньою допомогою доставити на поверхню засипання реактора близько 150 різних діючих перетворювачів. Їх покази реєструвалися за допомогою системи оперативного контролю і діагностики, створеної на четвертому блоці на основі стандартного мікропроцесорного вимірювального комплексу К-484. Ця система забезпечила вивчення основних теплових і радіаційних характеристик аварійного реактора і надійне безперервне надходження оперативної інформації про його стан з початку серпня 1986 р.

За допомогою цих буїв було реалізовано метод теплової локації скупчень паливомістких мас (ПММ). Було випробувано різні методи пошуку і виявлення скупчень ПММ. Найефективнішим виявився теплотричний метод, у якому використано природний фактор, який полягає в тому, що теплові потоки, на відміну від потоку іонізуючого випромінювання, проходять без поглинання крізь будь-який матеріал довільної товщини. Для пошуку місць розташування ПММ учасниками Комплексної експедиції на ЧАЕС було розроблено новий метод теплової локації скупчення ПММ, що полягає у визначенні просторових розподілів густин теплових потоків по замкненій поверхні, що обмежує досліджуваній об'єм. Враховувалися усі види теплових потоків: кондуктивні, конвективні та променисті.

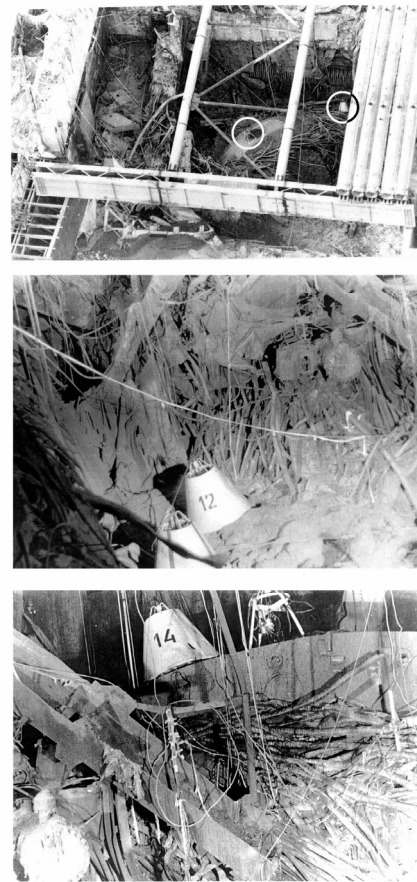


Рис. 5. Діагностичні буї ІАЕ в актуальних точках зруйнованого енергоблока

Поділивши дослідження на етапи і визначаючи з міркувань практичної зручності і безпечного виконання вимірювань форму й розміщення замкнутих поверхонь, що їх обмежують, можна послідовно виявити і локалізувати потужні джерела тепловиділення, пов'язані з великими скупченнями ПММ.

На першому етапі цих досліджень, виконаних у серпні – вересні 1986 р., було вивчено розподіли конвективних теплових потоків над розвалом реактора й кондуктивних теплових потоків на поверхнях приміщень, що прилягають до нижньої частини шахти реактора та підпаратного приміщення. Перетворювачі теплового потоку і температури ІТТФ доставлялися на поверхню розвалу в складі діагностичних буїв вертольотами або краном "ДЕМАГ". Крім того, краном "ДЕМАГ" скидали й окремі ПТП, що були приклеєні до масивного металевого диска (див. рис. 1, в), який мав скобу для кріплення до фала.

Оскільки розміщення на зруйнованому блоці скинутих буїв і ПТП мало виключно випадковий

характер, необхідно було організувати систематичний оперативний контроль теплового стану завалів і збережених приміщень. Для цього ІТТФ було запропоновано перший зразок переносного вимірювача теплових потоків, що був аналогом приладів серії ІТП, які призначалися для вимірювання теплових втрат крізь конструкції будівельних огорожувальних споруд і теплової ізоляцію технологічних пристроїв та апаратів [2, 4]. У його характеристиках було враховано реальні екстремальні умови чорнобильського об'єкта. Проте зразок, доставлений у Чорнобиль, виконав, швидше, демонстраційну роль, а для практичних вимірювань в ІТТФ було розроблено переносний прилад моделі ІТП-Т, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 6. Прилад містить первинні перетворювачі – ПТП і термометр опору (ТО), змонтовані в одному металевому корпусі (див. рис. 1, г) [2, 3, 5]. Цей теплотермометричний перетворювач для забезпечення дистанційного вимірювання був закріплений шарніром на кінці телескопічного жезла, яким слугувало склопластикове телескопічне трисекційне вудлице завдовжки до 4 м. Це давало змогу оператору перебувати на порівняно безпечній відстані від об'єкта, що обстежується, в умовах сильного іонізуючого випромінювання. Сталі часу ПТП і ТО, що дорівнюють, відповідно, 25 і 40 с, дали можливість довести час перебування оператора в кожній точці вимірювань до $1,5 \div 2$ хв.

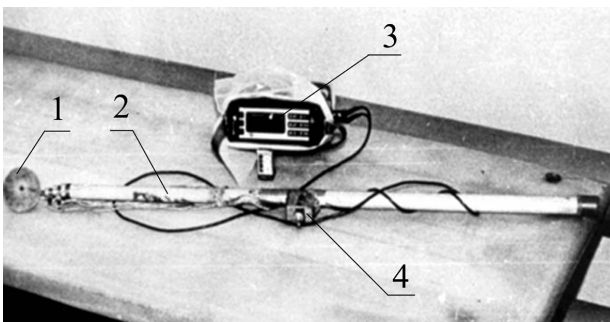


Рис. 6. Переносний прилад ІТТФ для вимірювання теплового потоку і температури на поверхні розвалу (модель ІТП-Т): 1 – ПТП; 2 – телескопічне вудлице; 3 – цифровий вольтметр В7-35; 4 – потенціометр

Як реєструвальний і показувальний прилад було використано стандартний універсальний цифровий вольтметр В7-35 з автономним живленням. Для спрощення опрацювання показів вольтметра під час одержання значень вимірюваної густини теплового потоку

в умовах жорсткого ліміту часу застосовували вбудований у рукоятку телескопічного жезла потенціометр, що дав змогу за допомогою деякого зменшення чутливості ПТП довести коефіцієнт перетворення до значення $10 \text{ Вт/м}^2/\text{под}$. Внаслідок цього шукана густина теплового потоку визначалася множенням на 10 показів вольтметра у режимі вимірювання теплового потоку. З аналогічною метою було забезпечено чутливість ТО, що дорівнювала $0,1 \text{ Ом/К}$, при якій значення вимірюваної температури в Кельвінах дорівнювало показам вольтметра в режимі вимірювання опору [6, 7]. Перемикач роду робіт також було вбудовано в рукоятку жезла.

Усього було виготовлено і передано комплексній експедиції "Укриття" чотири такі прилади, кожний з яких послідовно містив деякі удосконалення.

Саме застосування цього приладу дало змогу реалізувати теплову розвідку та локалізацію вогнищ нагрівання в місцях високої концентрації ядерного палива і продуктів розпаду, які могли становити велику небезпеку за умови тривалого захоронення залишків реактора. Внаслідок такої теплової розвідки було виявлено приміщення з аномально високою густиною теплового потоку з боку підапаратного приміщення, отриманий результат було підтверджено результатами дозиметричної розвідки.

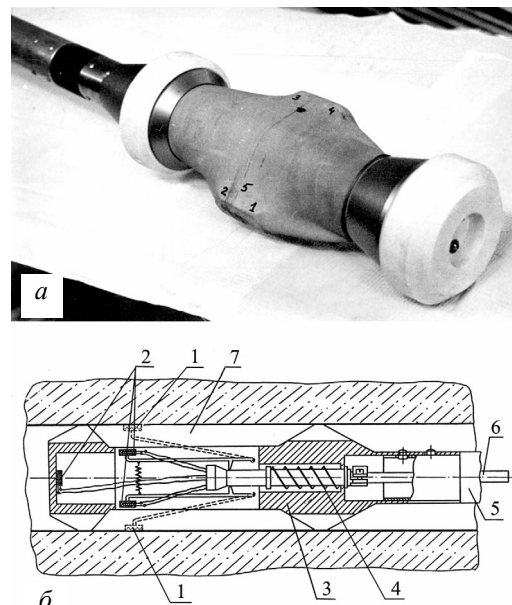


Рис. 7. Свердловинний теплотермометричний зонд ІЯД: а) загальний вигляд; б) конструктивна схема: 1 – ПТП; 2 – термометри опору; 3 – корпус; 4 – пружина; 5 – штанга; 6 – кабель; 7 – свердловина

Для вимірювання густини теплових потоків, що проходять крізь засипання, завал і збережені конструкції аварійного енергоблока, співробітниками Інституту ядерних досліджень АН УРСР (далі – ІЯД) разом із співробітниками ІТТФ було розроблено свердловинний теплотермометричний зонд (ТТМЗ), зовнішній вигляд і конструктивну схему якого наведено на рис. 7.

Зонд містить три стандартні термометри опору, два ПТП, виготовлені у відділі теплотермії ІТТФ. ПТП розташували в одному поперечному перерізі, але на діаметрально протилежних боках зонда. Перед завантаженням у свердловину пружину 4 зонда стискали за допомогою сталевого тросика, що натягується біля торця, зменшуючи відстань між двома ПТП на 2–3 мм, і зонд вільно входив у свердловину. У зоні вимірювання тросик послабляли, і притисковий пристрій притискав обидва ПТП до поверхні свердловини. Зонд можна було повернути навколо осі та перемістити вздовж довжини свердловини.

Усі розроблені та виготовлені ПТП перед відправленням у Чорнобиль градувалися на спеціальному стенді за розробленою методикою радіаційного теплового компарування зі зразковим ПТП, атестованим у Сибірському науково-дослідному інституті метрології Держстандарту СРСР, а також кондуктивним методом двох вимірювань у діапазоні температур від 20 до 100 °С [8, 9].

Роботи, виконані в серпні – вересні 1986 р. з діагностичного обстеження зони четвертого блока ЧАЕС, дали змогу виявити підвищену активність поблизу конструкції "Е" на засипанні реактора і показати, що найпотужніше джерело має діаметр близько 20 м. Цей результат визначив місце найперспективнішого розміщення засобів контролю.

У результаті виконаних досліджень було встановлено, що вже 2 червня температура зливного колектора СУЗ поблизу палива в східній частині кімнати 305 дорівнювала 55 °С й знижувалася з часом. Наприкінці вересня вона становила 15 °С. За вимірюваннями розподілів гамма-активності в камерних і зливних колекторах оцінено розподіл палива в шахті реактора. Досліджено цілодобові зміни температури поверхні засипання реактора і повітря над нею і зовні будівлі, швидкості повітряних потоків над засипанням, густини теплових потоків на поверхні засипання і потужності дози гамма-випромінювання в 14 різних точках контролю.

Встановлено, що найвищі значення теплових і радіаційних параметрів концентруються в центральній і східній ділянках розвалу шахти реактора.

Температура поверхні аварійного реактора за весь контрольований період (з 7 серпня 1986 р.) не перевищувала 65 °С, а температура повітря, що охолоджує реактор, 70 °С. Їх зміни у часі повторювали добові коливання температури зовнішнього повітря.

Різниця температур повітря над поверхнею реактора і зовні будівлі не перевищувала в серпні 44 °С, у вересні – 23 °С, у жовтні – 25 °С. Швидкості повітряних потоків над поверхнею реактора коливалися близько середнього значення 0,8 м/с. Потужності доз гамма-випромінювання в різних місцях поверхні реактора становили від 100 до 54000 Р/год і знижувалися з однаковою швидкістю, що відповідає зменшенню вдвічі за (63 ± 5) доби.

На основі зазначених результатів вимірювань було виконано розрахункову оцінку теплових втрат на поверхні аварійного реактора. Сумарне значення теплоти, що відводиться від поверхні реактора, розраховане на 25 жовтня 1986 р., мало значення 1,85 МВт, що відповідає наявності в реакторі 96 % палива, яке знаходилося в ньому на момент аварії. Причому близько 80 % (1,44 МВт) вказаних теплових втрат локалізувалось в центральній та північно-східній ділянках шахти реактора.

Потужність джерела теплоти, виявленого методом теплової розвідки в підапаратному приміщенні, становила близько 55 кВт (що не перевищує 3 % від сумарної потужності залишкового тепловиділення в реакторі і відповідає $\approx 5,5$ т палива). Температура поверхні скупчення матеріалів, що містять паливо і продукти розпаду, досягла 300 °С.

Внаслідок виконаного комплексу досліджень і робіт на четвертому блоці ЧАЕС за короткі строки було створено оперативну систему контролю і діагностики теплових і радіаційних параметрів аварійного реактора.

Описана теплотермічна апаратура дала можливість скласти загальну повну теплоточну і температурну картину аварійної зони. Відзначимо три важливі результати, отримані за її допомогою:

1. Аналіз змін у часі розподілів температур і густин потоків теплоти в доступних місцях об'єкта "Укриття" показав, що потужність залишкового тепловиділення в реакторі № 4 спадала відповідно до відомої закономірності для накопичених у ньому продуктів

розпаду. Це разом з низькими значеннями температур у контрольованих точках дало змогу зробити висновок про безпечний поточний стан об'єкта "Укриття".

2. Кількісна оцінка теплового балансу реактора № 4, що охолоджується, дала змогу визначити нижню границю кількості ядерного палива, що залишилося в реакторі. Із довірчою ймовірністю 0,965 ця кількість перевищує 87 % від паливного завантаження, що перебувало в реакторі № 4 на момент аварії.

3. Детальне теплотиметричне обстеження приміщень, що прилягають до шахти реактора, й огорожувальних будівельних конструкцій самої шахти, дало змогу, з одного боку, оптимізувати розміщення перетворювачів оперативного контролю та, з іншого боку, показало наявність ділянок з підвищеними значеннями густин теплових потоків і температур, тим самим допомогло визначити актуальні напрямки подальших діагностичних досліджень.

1. Геращенко О.А. Основы теплотиметрии. – К., 1971. 2. Приборы для теплофизических измерений // Каталог Ит-та проблем энергосбережения НАН Украины. – К., 1991. 3. Геращенко О.А., Декуша Л.В., Гурьянов Л.А., Лукашевич Л.А., Василевская В.В. Приборы для контроля теплового состояния объекта "Укрытие" // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т. 69. – № 2. 4. Геращенко О.А., Бузынюк В.Т., Грищенко Т.Г., Кожевников И.Г. Прибор для измерения тепловых потоков через ограждающие конструкции // Сб. трудов НИИСФ Госстроя СССР "Строительная

теплофизика. Микроклимат и теплоизоляция". – М., 1979. – С. 127-131. 5. Геращенко О.А., Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Лукашевич Л.А., Василевская В.В. Комплекс теплотермометрической аппаратуры для диагностики разрушенного энергоблока ЧАЭС // Сб. "Проблеми Чорнобильської зони відчуження". Т. 5. – К., 1998. – С. 187-193. 6. Геращенко О.А., Аракелян М.А. Автономное малогабаритное устройство для экспресс-диагностики теплового состояния объекта // Мера-90: Докл. междунар. конф. с выставкой. – М., 1990. – Ч. 2. – С. 233-238. 7. Геращенко О.А., Гурьянов Л.В., Лукашевич Л.А. Нестандартизованная статическая характеристика термопреобразователя сопротивления // Проблемы энергосбережения. – 1991. – № 6. – С. 12-14. 8. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Аппаратура для метрологической аттестации преобразователей теплового потока // Тезисы докладов VII Всеакадемической школы по проблемам метролог. обеспечения и стандартизации. – Фрунзе: АН Киргизской ССР, 1989. 9. Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Сало В.П., Ланий А.В. Аппаратура для метрологической аттестации первичных преобразователей // Сб. науч. трудов "Теплотиметрия и теплосбережение". – К., 1991. – С. 64-69. 10. Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Гринченко Г.П., Воробьев Л.И., Мазуренко А.Г. Микрокалориметр для измерения тепловыделения топливосодержащих масс // Сб. "Проблеми Чорнобильської зони відчуження". – К., 1998. – С. 182-187.

УДК 536.532

ПЕРЕВІРКА ТЕРМОПАР ЗА ДОПОМОГОЮ ЕФЕКТУ ПЕЛЬТЬЄ

© Віктор Лозбін^{1,2}, Володимир Столярчук¹, 2003

¹Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Метрологія, стандартизація та сертифікація", вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна,

²Люблінська політехніка, Люблін, Польща

Розглянуто метод визначення термоелектродвижущей силы термопары з використанням ефекту Пельтьє.

Представлен метод определения термоэлектродвижущей силы термопары с использованием эффекта Пельтьє.

The method of definition of thermoelectromotive force of the thermoelectric couple is submitted, using effect Peltie.

Постановка задачі. Перевірка параметрів термопар під час їх роботи без демонтажу має велике практичне значення і розробленню відповідних методів приділяється багато уваги [1]. Відомим є метод

перевірки за допомогою ефекту Пельтьє, який полягає в тому, що через з'юот термопары пропускається імпульс струму, який через теплоту Пельтьє збільшує або зменшує температуру з'юоту. Температура з'юоту