

ПРОБЛЕМИ ВЗАЄМОДІЇ ВОДИ З ПАЛИВОВМІСНИМИ МАСАМИ В ОБ'ЄКТІ “УКРИТТЯ” ЧАЕС

І. Р. Юхновський, О. Є. Кобрин, В. В. Токаревський*, М. В. Токарчук
Інститут фізики конденсованих систем Національної академії наук України
Україна, UA-290011, Львів, вул. Свенціцького, 1

* *Державне спеціалізоване підприємство з переробки та захоронення радіоактивних і техногенних відходів*
“Техноцентр”, Київська область, Чорнобиль, вул. Радянська, 41
(Отримано 10 січня 1997)

Наведено основні форми перебування ядерного палива та пов'язані з ним головні фактори ядерної та екологічної небезпеки об'єкта “Укриття”. Проаналізовано процеси взаємодії паливовмісних мас з водою на основі експериментальних даних.

Ключові слова: ядерна та екологічна безпека, паливовмісні маси, трансуранові елементи, радіоліз, гідроліз.

PACS number(s): 05.60.+w, 28.20.Gd, 66.20.+d

Чорнобильська катастрофа [1–10], нагромадження радіоактивних відходів із значним вмістом трансуранових довгоживучих елементів (Росія, США, Україна, Франція, Японія та ін.), перевиробництво плутонію Pu (США, Росія), виробництво у військових цілях [11] гостро поставили проблеми, з одного боку, розвитку нових підходів розв'язання проблем трансмутації і захоронення високоактивних відходів, а з іншого, — розвитку альтернативних шляхів створення ядерно-енергетичних комплексів, наприклад, рідинно-сольові ядерні реактори на торій-урановому циклі [12–16].

Головною проблемою на Чорнобильській АЕС вже протягом десяти років є ядерно-фізико-хімічний стан палива зруйнованого атомного реактора четвертого енергоблока. Одним із найважливіших після аварії питань було: скільки ядерного палива залишилось у зруйнованому реакторі? Чіткої відповіді на це запитання немає й досі. Друге найважливіше питання, яке різко змінило практично всі висновки “Технічного обґрунтування ядерної безпеки об'єкту “Укриття” [17], пов'язане з взаємодією паливовмісних матеріалів з водою всередині об'єкта “Укриття”. Що ж власне відбувається внаслідок такої взаємодії і які процеси нас можуть чекати в недалекому майбутньому?

Щоб знайти відповідь на це запитання, необхідно чітко з'ясувати форми перебування ядерного палива та пов'язані з ним фактори ядерної й екологічної небезпеки об'єкта “Укриття”.

На 26.04.1986 року на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС було 231.5 тонн ядерного палива за ураном (розміщення і кількість його наведені в табл. 1), у шахті реактора — 190.3 т (215 т UO₂). В активній зоні реактора було до 700 кг плутонію (²³⁹Pu~420 кг, ²⁴⁰Pu~175 кг, ²⁴¹Pu~50 кг,

²⁴²Pu~15 кг). Після аварії за офіційними даними МАГАТЕ [1–4] в об'єкті “Укриття” міститься ~96% ядерного палива. Протягом десяти років спочатку Комплексною експедицією Курчатівського інституту атомної енергії РАН, а з 1992 р. — МНТЦ “Укриття” НАН України з'ясовано, що шахта ядерного реактора практично порожня. Ядерне паливо в різних формах є: в Центральному залі — фрагменти активної зони, у приміщеннях паророзподільного коридора (ПРК), підапаратних приміщеннях (305/2, 304/2 та інших, 217/2), в басейні-барбатурі (перший та другий поверхи) — лавоподібні паливовмісні маси — ядерна маґма. За даними теплотричних вимірювань у ядерній маґмі міститься 135±30 т UO₂ [18–21], на 1994 р. після додаткових вимірювань — 70÷90 т [21,22]. У табл. 2 наведено розміщення та кількість ядерного палива в лавоподібних масах, а в табл. 3 — його кількість після додаткових вимірювань. Зокрема, в табл. 4 [20] є дані розміщення в об'єкті “Укриття” різних форм знаходження ядерного палива та його кількість. За даними прямих вимірювань [23–26] — 23.8÷4.5 т UO₂. У табл. 5 наведені дані розміщення та кількість ядерного палива в лавоподібних масах, визначені прямим вимірюванням, а в табл. 6 — результати після додаткових вимірювань.

Отже, аналізуючи дані в табл. 1–6, і якщо в Центральному залі оцінювати кількість ядерного палива від 15 до 40 т, то грубі оцінки свідчать, що протягом 10 років не контролюється не менше 100 т ядерного палива! Безперечно, можна висловлювати критичні зауваження щодо обидвох методів вимірювань: теплотричного та прямого, однак проблема є і далі нез'ясованою.

Сьогодні визначені основні форми перебування ядерного палива після аварії на ЧАЕС в об'єкті

| Номер прим. | Технологічне призначення приміщення | Кількість ядерного палива за ураном, т | Початкове збагачення за ^{235}U , % | Вигорання палива Мвт·доб./кг (U) |
|-------------|--------------------------------------|--|--|----------------------------------|
| 504/2 | Шахта реактора (Активна зона) (АЗ) | 190,3 | 2 | 11 |
| 505/4 | Басейн витримки касет | 19,4 | 2 | 11 |
| 914/2 | Центральний зал (Ц.З.) | 2,3 | 2 | 0 |
| 503/2 | Приміщення підготовки свіжого палива | 19,5 | 2 | 0 |
| Всього | | 231,5 | 2 | — |

Табл. 1. Розміщення та кількість ядерного палива в четвертому енергоблоці перед аварією.

| Приміщення | Висотна відмітка, м | Маса палива, т |
|---|---------------------|----------------|
| Басейн барбатер: | | |
| 1-й поверх | 0.00 | 1.5±0.5 |
| 2-й поверх | 3.00 | 11±4 |
| Паророзподільний коридор | | |
| 3-й поверх | 6.00 | 23±7 |
| Приміщення 305/2, 4-й поверх | 10.00 | 75±25 |
| Приміщення 304/3, 301/5, 301/5, 303/3 | 9.30–9.00 | 20±7 |
| Приміщення 217/2 | 6.00 | 4±1 |
| Всього 135±30 т, або якщо просумувати масу палива, 134.5±44.5 т | | |

Табл. 2. Кількість палива в ЛПМ.

| Приміщення | К-ть | Метод визначення урану |
|--|------------|--|
| Приміщення 305/2 | 75±25(-35) | Теплометричний |
| Паророзподільний коридор | 25±11 | Теплометричний з врахуванням палива в клапанах |
| ББ-2 | 8±3 | Візуальний |
| ББ-1 | 1.5±0.7 | |
| Приміщення 304/3, 301/5, 303/3, 301/6, 217/2 | 11±5 | |
| Всього 125±44.7 | | |

Табл. 3. Кількість палива в ЛПМ, визначена за допомогою додаткових методик вимірювання.

| Приміщення (відмітка) | Вид паливовмісних мас (ПМ) | Кількість палива в ПМ, т (U) |
|---|---|------------------------------|
| Центральний зал (35.50) Інші верхні приміщення блока | Фрагменти активної зони засипані матеріялами. В області схеми "Є" | ? 10-36 |
| Центральний зал (35.Б0) | Свіже паливо, заготовлене для завантаження | 2-2.5 |
| Південний басейн витримки (18.00-35.50) | Відпрацьоване паливо | 20 |
| Більшість приміщень | Ядерний пил. Гарячі паливні частинки | 10 |
| Підапаратне приміщення 305/2 (9.00) + схема "ОР" | Лавоподібні паливовмісні маси (ЛПМ)-ядерна магма, | 75+25 |
| + шахта реактора | фрагменти активної зони | |
| Паророзподільний коридор ПРК (6.00) з урахування ПМ | Ядерна магма | 25+11 т |
| Басейн-барбатер 2-й поверх (ББ-2) | Ядерна магма | 8+3 т |
| Басейн-барбатер 1-й поверх (ББ-1) | Ядерна магма | 1.5+0.7 |
| 304/3, 303/3, 301/5, 301/6, "Слонова нога" та ін. | Ядерна магма | 11+5 |
| Приміщення реакторного блока. ВСРО, машинний зал | Вода з розчиненими солями урану | 3000 м ³ води |

Табл. 4. Розподіл ядерної магми ЛПМ в приміщеннях об'єкта "Укриття".

| Приміщення | Висотна відмітка, м | Маса палива, т |
|---------------------------------------|---------------------|-----------------|
| Басейн барбатер: | | |
| 1-й поверх | 0.00 | 1.5±0.5 |
| 2-й поверх | 3.00 | 11±4 |
| Паророзподільний коридор | | |
| 3-й поверх | 6.00 | 23±7 |
| Приміщення 305/2, 4-й поверх | 10.00 | 75±25 |
| Приміщення 304/3, 301/5, 301/5, 303/3 | 9.30-9.00 | 20±7 |
| Приміщення 217/2 | 6.00 | 4±1 |
| | | Всього 27.8±5.9 |

Табл. 5. Кількість палива в ЛПМ, визначена прямим вимірюванням.

| Приміщення | Об'єм, м ³ | К-ть діоксиду урану, т |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| ББ-1 | 2 | 0.4±0.1 |
| ББ-2 | 10 | 2.2±0.3 |
| Паророзподільний коридор | 22.5 | 3.75±0.6 |
| Приміщення 304/2 | 74.5 | |
| Приміщення 304/3, 301/5, 303/3, 301/6 | 57 | 5.2±1.4 |
| Приміщення 217/2, 301/5, 303/3 | 3 | 0.3±0.1 |
| Всього | 169 | 23± 4.4 |

Табл. 6. Кількість палива в ЛПМ після проведення додаткових вимірювань.

| Нуклід | Група | Період піврозпаду | Сумарна активність, Бк | Питома активність, Бк/г U | Повна маса, кг | Хемічний стан | Фізичний стан | Розчинність | Група радіаційної небезпеки |
|--|-------|----------------------|------------------------|---------------------------|--|---|--|-------------|-----------------------------|
| ^{14}C | III | $5.73 \cdot 10^3$ р | $5 \cdot 10^3$ | $6.25 \cdot 10^4$ | 0.3 | Хемічно незв'язаний стан | У графітовій кладці | НР | Г |
| ^{60}C | III | 5.27 р | $1.0 \cdot 10^{16}$ | $9.8 \cdot 10^5$ | 0.24 | Металічні включення в сталі, матриці, оксиди | У металоконструкціях, в осадах трубопроводів | НР | В |
| ^{90}Sr | I | 28.6 р | $1.9 \cdot 10^{17}$ | $9.9 \cdot 10^8$ | 37 | Оксиди, ураніти | Паливні фрагменти ЛПМ, пил | Р | Б |
| ^{90}Y | I | 61.4 год | $1.9 \cdot 10^{17}$ | $9.9 \cdot 10^8$ | $9.4 \cdot 10^{-3}$ | Оксиди, можуть розчинятися в UO_2 | /-/ | НР | В |
| ^{106}Ru (^{106}Rh) | I | 368.2 д (29.2 с) | $7.2 \cdot 10^{15}$ | $3.8 \cdot 10^7$ | $2.9 \cdot 10^{-2}$ $2.7 \cdot 10^{-8}$ | Металічні включення | /-/ | НР | Б |
| ^{125}Sb ^{125}Te | I | 27.7 р (58 д) | $3.3 \cdot 10^{15}$ | $1.7 \cdot 10^7$ | $7.0 \cdot 10^2$ $9.8 \cdot 10^{-4}$ | /-/ | /-/ | НР | Б |
| ^{134}Cs | I | 2.06 р | $1.2 \cdot 10^{16}$ | $6.1 \cdot 10^7$ | 0.24 | Пара при $T > 1000$, оксиди $T > 1000^\circ\text{C}$ | /-/ | Р | В |
| ^{144}Ce (^{144}Pr) | I | 284.3 д (17.28 х) | $5.6 \cdot 10^{15}$ | $3.0 \cdot 10^7$ | $2.4 \cdot 10^{-2}$ $1.0 \cdot 10^{-6}$ | Оксиди, розчиняються в OU_2 | /-/ | НР | Б |
| ^{147}Pm | I | 2.62 р | $1.0 \cdot 10^{17}$ | $5.3 \cdot 10^8$ | 2.9 | /-/ | /-/ | НР | В |
| ^{151}Sm | I | 90 р | $6.1 \cdot 10^{15}$ | $3.2 \cdot 10^7$ | 6.3 | /-/ | /-/ | НР | В |
| ^{154}Eu | I | 8.8 р | $7.2 \cdot 10^{15}$ | $3.8 \cdot 10^7$ | 0.74 | /-/ | /-/ | НР | Б |
| ^{155}Eu | I | 4.96 р | $3.8 \cdot 10^{15}$ | $20.1 \cdot 10^7$ | 0.22 | /-/ | /-/ | НР | В |
| ^{238}Pu | II | 87.75 р | $1.4 \cdot 10^{15}$ | $7.5 \cdot 10^5$ | 2.2 | Оксиди можуть розчинятися частково в UO_2 | /-/ | НР | А |
| ^{239}Pu | II | $2.41 \cdot 10^3$ р | $9.6 \cdot 10^{14}$ | $5.1 \cdot 10^5$ | 420 | /-/ | /-/ | НР | А |
| ^{240}Pu | II | $6.54 \cdot 10^3$ р | $1.6 \cdot 10^{15}$ | $8.2 \cdot 10^6$ | 190 | /-/ | /-/ | НР | А |
| ^{241}Pu | II | 14.4 р | $1.3 \cdot 10^{17}$ | $6.6 \cdot 10^8$ | 34 | /-/ | /-/ | НР | Б |
| ^{241}Am | II | 432.2 р | $2.1 \cdot 10^{15}$ | $1.1 \cdot 10^7$ | 17 | /-/ | /-/ | НР | А |
| ^{242}Pu | II | $3.76 \cdot 10^5$ р | $2.6 \cdot 10^{12}$ | $1.3 \cdot 10^5$ | 18 | /-/ | /-/ | НР | А |
| ^{243}Am | II | $7.38 \cdot 10^3$ р | $9.7 \cdot 10^{12}$ | $5.1 \cdot 10^5$ | 1.3 | /-/ | /-/ | НР | А |
| ^{244}Cm | II | 18.11 р | $2.14 \cdot 10^{14}$ | $1.3 \cdot 10^6$ | $7.8 \cdot 10^{-2}$ | /-/ | /-/ | НР | А |

Табл. 7. Радіологічні властивості радіонуклідів, що є в об'єкті "Укриття" (на 26.04.1994 р.). Таблиця складена С. І. Івановим, Е. М. Пазухінін та В. Г. Щербінін. Питома активність наведена в Бк на 1 г ядерного палива, для ^{14}C — в Бк на 1 г графіту, для ^{60}Co — в Бк на 1 г сталі.

"Укриття" [20,27]:

- паливо у вигляді таблеток діоксиду урану UO_2 в твелах ТВС та їхні фрагменти — найбільш небезпечна форма, значна частина якої є в Центральному залі. За 10 років Центральний зал майже не досліджували у зв'язку зі складним радіаційним та технічним станом. Математичне

моделювання [28,29] взаємодії фрагментів активної зони з водою для певного об'єму в Центральному залі свідчить, що значення ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів можуть бути більші від одиниці;

- ядерний пил — гарячі паливні частинки, близько 15 т за ураном [20];

- лавоподібна ядерна магма — утворення, що виникло внаслідок вистигання розплаву ядерного палива з матеріялами засипки (доломіт, свинець, пісок, глина, сполуки з бором та ін.) [20,21,23–26]:
 - коричнева кераміка — коричнева склоподібна маса з середньою густиною від 1.6 до 3.15 г/см³ та 10±2% вмістом ядерного палива з глибиною вигорання 12.6±0.4 (МВт доба)/(кг урану);
 - чорна кераміка — чорна склоподібна маса з середньою густиною від 2.0±0.2 до 2.9 г/см³ та 5±1% вмістом ядерного палива з глибиною вигорання 12.5±0.5 (МВт доба)/(кг урану);
 - шлак і шлакоподібна гранульована ядерна магма;
 - пемзоподібна ядерна магма з середньою густиною 0.14 ÷ 0.18 г/см³ — утворення внаслідок взаємодії розплаву ядерного палива і води. В табл. 7 наведені радіологічні властивості радіонуклідів, які були в об'єкті “Укриття” на 26.04.1994 р. Характеристика різних зразків ядерної магми приведена в табл. 8, а в табл. 9 — значення за глибиною вигорання, процентним вмістом U та значення α-активності ізотопів ²³⁸U, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am, ²⁴²Cm, ²⁴⁴Cm. Зокрема, в табл. 10 приведено процентний склад ізотопів ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁶U, ²³⁸U та ²³⁸U/²³⁵U, ²³⁵U/²³⁶U у різних зразках: паливна частинка, ґрунт, лавоподібні паливовмісні маси. Середній хемічний склад лавоподібних мас та конструкційних матеріалів зруйнованого реактора наведені в табл. 11.
- водні розчини солей урану, плутонію, цезію, стронцію та інші, що утворилися внаслідок взаємодії ядерної магми з природною та техногенною водою. В приміщеннях об'єкта “Укриття” є близько 3000 м³ води за даними ЧАЕС, причому близько 2000 м³ сконцентровано в машинному залі, з яких контролюється практично близько 1000 м³. У водоймах не контролюється вміст солей бору та гадолінію як нейтронопоглиначів. Станом на 1994 рік верхня оцінка маси збагаченого урану у воді нижніх приміщень об'єкта “Укриття” — кілька кілограмів [20]. У звіті ВЯРБ МНТЦ “Укриття” за 1994 рік наведено дані радіонуклідного складу води в об'єкті “Укриття” в різних точках відбору проб. Аналіз проб з різних місць об'єкта засвідчив, що протягом 1994 року спостерігалось тенденційне збільшення концентрації урану у водоймах. У табл. 12 для порівняння наведено мінімальний і максимальний питомі вмісти радіонуклідів у водоймах приміщень об'єкта “Укриття” за чотири роки [20] з поправкою на 1995 рік. Як бачимо, питома вага цезію, стронцію, плутонію та урану у воді збільшується. З листопада 1992 р. спостерігається збільшення (приблизно в 5 разів) максимальної питомої ваги урану і плутонію в пробах води. Середні значення концентрації урану у водоймах у різних приміщеннях об'єкта за роками наведені в табл. 13. Дані значень концентрацій ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁹⁰Sr, Pu та U у воді з різних точок відбору та часу протягом 1994 р. [20] з приміщень об'єкта “Укриття” наведені в табл. 14.
- Проби води з різних точок відбору на вміст хемічних елементів U, Pb, Zn, Ni, Fe проаналізовані рентгенофлюоресцентним методом, результати якого наведені в табл. 15. У табл. 16 наведена масова частка урану у воді за результатами різних методів вимірювань: лазерно-люмінесцентним, спектрофотометричним, рентгенофлюоресцентним. За α-спектроскопічним та мас-спектроскопічним методами досліджено ізотопний склад урану в пробах води з об'єкта “Укриття” (табл. 17). Результати досліджень ([30], табл. 18), проведених 23.02.1995 р. свідчать про тенденційне збільшення концентрації урану у водоймах приміщень об'єкта “Укриття”;
- мінеральні новоутворення урану на поверхні ядерної магми [20,25,31,32]:
 - UO₃·2H₂O — епіянітиніт;
 - UO₂CO₃ — ретзерфордин;
 - UO₃·1.6CO₃·1.91H₂O, UO₄·4H₂O — студитіт;
 - Na₄UO₂(CO₃)₃ з вмістом до 55% UO₂. Ці мінерали добре розчиняються у воді. У звіті Інституту атомної енергії ім. І.В.Курчатова РАН [33] наведені результати досліджень жовтих та жовто-коричневих новоутворень [31] на поверхні ядерної магми приміщення 210/6 на вміст ізотопів урану ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁶U. Відзначено відносно високий вміст урану ²³⁴U, а ²³⁵U/²³⁸U в 1.6 раза перевищує нормальне співвідношення ²³⁵U/²³⁸U для РБМК-1000. Звідси випливає, що процеси утворення жовтих та жовто-коричневих кристалічних наростів на поверхні ядерної магми внаслідок складних фізико-хемічних процесів за участю води, приводять до концентрування у них урану. Оскільки новоутворення добре розчиняються у воді, то ми маємо один з активних механізмів виходу урану в концентрованому стані з ядерної магми у водойми об'єкта “Укриття”;
- хемічні осади з вмістом урану, плутонію, кюрію, америцію, стронцію, цезію у водних розчинах в об'єкті “Укриття”.

| Номер проби | Індекс проби | Короткий опис зразків | Дата проведення аналізу |
|-------------|--------------|---|-------------------------|
| 1 | k-1 | Застигла маса світло-сірого кольору, частково у склоподібному стані | 02.89 р. |
| 2 | k-2 | Маса сірого кольору з чорними вкрапленнями | 02.89 р. |
| 3 | k-3 | Графіт з вкрапленнями темних кульок розмірами частки, мм | 02.89 р. |
| 4 | k-4 | Склоподібна чорна маса подібна на антрацит | 02.89 р. |
| 5 | k-5 | Чорна маса подібна на бетон | 12.88 р. |

Табл. 8. Характеристика різних зразків ядерної магми.

| Номер проби | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Вигорання МВт доба/г U | 11.8 | 10.8 | 12.6 | 13.5 | 12.6 |
| Вміст U, % | 2.26 | 6.33 | 0.56 | 5.62 | 8.81 |
| α-активність ізотропів, Бк/г U | | | | | |
| ²³⁸ Pu | $0.73 \cdot 10^7$ | $0.72 \cdot 10^7$ | $0.98 \cdot 10^7$ | $0.64 \cdot 10^7$ | $0.43 \cdot 10^7$ |
| ²³⁹ Pu | $0.53 \cdot 10^7$ | $0.61 \cdot 10^7$ | $0.80 \cdot 10^7$ | $0.49 \cdot 10^7$ | $0.29 \cdot 10^7$ |
| ²⁴⁰ Pu | $0.81 \cdot 10^7$ | $0.93 \cdot 10^7$ | $1.22 \cdot 10^7$ | $0.74 \cdot 10^7$ | $0.44 \cdot 10^7$ |
| ²⁴¹ Am | $0.54 \cdot 10^7$ | $0.57 \cdot 10^7$ | $0.75 \cdot 10^7$ | $0.44 \cdot 10^7$ | $0.26 \cdot 10^7$ |
| ²⁴² Cm | $0.38 \cdot 10^7$ | $0.32 \cdot 10^7$ | $0.46 \cdot 10^7$ | $0.33 \cdot 10^7$ | $0.21 \cdot 10^7$ |
| ²⁴⁴ Cm | $0.16 \cdot 10^7$ | $0.15 \cdot 10^7$ | $0.20 \cdot 10^7$ | $0.12 \cdot 10^7$ | $0.77 \cdot 10^7$ |

Табл. 9. Дані для проб за глибиною вигорання та α-активності.

| Тип зразка | ²³⁴ U, % | ²³⁵ U, % | ²³⁶ U, % | ²³⁸ U, % | ²³⁸ U/ ²³⁵ U, | ²³⁵ U/ ²³⁶ U, |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Паливна частинка | 0.018 | 0.90 | 0.19 | 98.99 | 109.9 | 4.77 |
| -//- | 0.018 | 1.00 | 0.18 | 98.80 | 98.8 | 5.56 |
| -//- | 0.018 | 0.98 | 0.18 | 98.82 | 100.8 | 5.44 |
| Єрунт | 0.016 | 1.17 | 0.16 | 98.65 | 84.32 | 7.32 |
| Лавоподібні паливовмісні маси | 0.015 | 1.03 | 0.18 | 98.77 | 95.8 | 5.58 |
| -//- | 0.015 | 0.97 | 0.17 | 98.84 | 102.4 | 5.53 |

Табл. 10. Ізотопний склад урану в паливовмісних частинках та ЛПМ, масова частка.

| Елемент | Пісок | Серпентиніт | Будівельний бетон | Лавоподібні паливовмісні маси |
|---------|-------|--|-------------------|-------------------------------|
| O | 50.0 | 52.0 | 47.7 | Нема даних |
| Si | 39.6 | 20.2 | 37.4 | 31.1 |
| Mg | - | 26.3 | до 0.2 | 3.0 |
| Ca | 1.2 | 1.0 | 4.9 | 5.2 |
| Na | 1.8 | - | 1.8 | 4.0 |
| K | 1.3 | - | 1.4 | 1.3 |
| U | - | - | - | 7.0 |
| Zr | - | - | - | 3.6 |
| F | 1.4 | Fe ₂ O ₃ 2.1-2.6 FeO 0.16-1.6 | 1.8 | 4.0 |
| Al | 3.7 | 1.0 | 3.8 | 3.8 |
| Mn | - | - | не знайдено | 0.37 |
| Cr | - | - | /-/ | 0.19 |
| Ni | - | - | /-/ | 0.18 |
| Ba | - | - | /-/ | 0.13 |
| Ti | - | - | /-/ | 0.12 |

Табл. 11. Хемічний склад лавоподібних паливовмісних мас та конструкційних матеріалів зруйнованого четвертого блока ЧАЕС, (мас. %).

| Радіонукліди | Період спостереження | Мінімальне значення | Максимальне значення |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| ¹³⁷ Cs, Бк/л | 1991 | 9·10 ⁴ | 7·10 ⁷ |
| | 1992 | 2·10 ⁴ | 6·10 ⁷ |
| | 1993 | 3·10 ³ | 9·10 ⁹ |
| | 1994 | 2·10 ³ | 2·10 ⁸ |
| | 1995 | | 6.3·10 ⁷ |
| ⁹⁰ Sr, Бк/л | 1991 | 8·10 ³ | 2·10 ⁶ |
| | 1992 | 1·10 ³ | 1·10 ⁶ |
| | 1993 | 1·10 ² | 2·10 ⁶ |
| | 1994 | 6·10 ² | 6·10 ⁶ |
| | 1995 | | 5.8·10 ⁶ |
| Сумарно за плутонієм, Бк/л | 1991 | | 860 |
| | 1992 | | 3400 |
| | 1993 | | 2600 |
| | 1994 | | 2600 |
| | 1995 | | 1811 |
| U мгк/л | 1991 | | 4900 |
| | 1992 | | 23000 |
| | 1993 | 4.0 | 14000 |
| | 1994 | 5.0 | 18000 |
| | 1995 | | 19000 |

Табл. 12. Питомий вміст радіонуклідів у водоймах приміщень об'єкта "Укриття".

| Номер точки | Приміщення | Концентрація, мкг/л | | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-------|-------|
| | | 1991 | 1992 | 1993 |
| 1 | 009/4(відм. 0.0) | 18 | 400 | 1100 |
| 2 | 101/2(відм. 2.20) | | 80 | 100 |
| 3 | 01/3(відм. 2.3) скв.р.у. | 490 | 820 | 760 |
| 4 | 009/4(відм. 3.0) | | 625 | 1260 |
| 5 | 012/13-15(південь) | 6800 | | 9300 |
| 6 | 012/15(північ) | | 11800 | 5900 |
| 7 | 012/16(північ) | 4900 | 1200 | 5050 |
| 8 | 012/15(північ) | 50 | | 9200 |
| 9 | 012/14(північ) | 400 | 240 | 5700 |
| 10 | 012/13(північ) | 3200 | | 13100 |
| 11 | 207/5 скв.3-9-III | | | 1350 |
| 12 | 205/5 скв.3-9.65 | | | 353 |
| 13 | 405/2 (відм.12,5) | | 170 | 150 |
| 14 | 406/2 (відм.12,5) | | | 215 |

Табл. 13. Концентрація урану у воді об'єкта "Укриття" (середнє значення за роками).

| Точка відбору | Дата 1994 рік | Об'ємна активність, Бк/л | | | | Уран мкг/л |
|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|------------|
| | | Cs-137, x10 ⁴ | Cs-134, x10 ⁵ | Sr-90, x10 ⁵ | Сум.Пу | |
| 1 | 26.1 | 3 | 1.4 | 3.3 | 225 | 6980 |
| 1 | 23.03 | 0.3 | 0.11 | 0.031 | 76 | 148 |
| 2 | 23.01 | 3.1 | 1.4 | 4.4 | 525 | 4230 |
| 2 | 17.02 | 3.2 | 1.4 | 10.3 | 107 | 3822 |
| 2 | 06.06 | 4.1 | 1.6 | 23 | 1773 | 13180 |
| 2 | 05.07 | 3.6 | 1.4 | 1 | - | 2567 |
| 3 | січень | 0.6 | 0.26 | 0.38 | 74 | 5000 |
| 3 | 06.06 | 3.6 | 1.6 | 1 | 153 | 5700 |
| 4 | 06.06 | 4.7 | 1.9 | 58 | 269 | 18019 |
| 4 | 05.07 | 0.25 | 0.1 | 0.28 | 67 | 159 |
| 5 | січень | 6 | 1.7 | 0.47 | 300 | 1000 |
| 6 | 23.01 | 5.3 | 2.4 | 5.6 | 320 | 9270 |
| 6 | 24.05 | 5.4 | 2.1 | 23 | 266 | 7500 |
| 7 | 10.01 | 3.8 | 1.7 | 6.9 | 566 | - |
| 7 | 23.01 | 5.7 | 2.4 | 0.33 | 229 | 1113 |
| 7 | 26.04 | 4.4 | 1.7 | 0.15 | 233 | 918 |
| 7 | 23.01 | 5.7 | 2.4 | 0.33 | 229 | 1113 |
| 7 | 24.05 | 3.3 | 1.2 | 2.9 | 253 | 1008 |
| 8 | 07.12.93 | 0.00053 | - | 0.07 | 0.9 | 35 |
| 8 | 10.01 | 0.00018 | - | 0.015 | 0.7 | - |
| 8 | 16.03 | 0.00043 | - | 0.029 | 1.1 | 5 |
| 13 | 17.01 | 21 | 9.6 | 9.3 | 92 | 1364 |
| 13 | 17.02 | 0.037 | 0.013 | 0.037 | 41 | 1063 |
| 20 | 06.05 | 1.3 | 0.054 | 3.7 | 46 | 2163 |
| 20 | 24.05 | 5.5 | 2 | 5 | 93 | 314 |
| 20 | 26.06 | 3.3 | 1.2 | 2.4 | - | 2455 |
| 21 | 07.12.93 | 4.2 | 2 | 1.5 | 335 | 8200 |
| 21 | 23.01 | 3.6 | 1.6 | 6 | 440 | 8110 |
| 22 | 23.01 | 3 | 1.4 | 0.35 | 158 | 3140 |
| 22 | 07.12.93 | 2.6 | 1.3 | 0.51 | 300 | 4200 |
| 23 | 07.12.93 | 7.1 | 3.3 | 10 | 436 | 6700 |
| 23 | 23.01 | 5.5 | 2.6 | 1 | 407 | 7473 |

Табл. 14. Радіонуклідний склад води з приміщень об'єкта "Укриття".

| Номер точки відбору | Концентрація хемічних елементів, мг/л | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-------|------|------|-----|
| | U | Pb | Zn | Ni | Fe |
| 2 | 2.8 | 0.1 | 11.2 | 0.94 | 2.3 |
| 6 | 9.4 | <0.05 | 23.6 | 4.30 | 6.8 |
| 7 | 1.1 | 7.5 | 0.8 | 1.30 | 5.2 |
| 20 | 2.6 | 0.05 | 0.5 | 1.50 | 2.1 |

Табл. 15. Результати аналізу проб води на вміст хемічних елементів рентгенофлюоресцентним методом.

| Номер точки відбору | Лазернолюмінесцентний метод | Спектрофотометричний метод | Рентгенофлюоресцентний метод | Середні значення в точці за три місяці |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--|
| 1 | 7.0+0.6 | 6.9+0.6 | | 6.0 |
| 2 | 3.5+0.4 | 3.0+0.3 | 2.8+0.8 | 3.7 |
| 6 | 9.3+0.5 | 7.0+0.7 | 9.4+3.0 | 10 |
| 7 | 1.6+0.3 | | 1.1+0.3 | 1.2 |
| 20 | 1.3+0.3 | 0.8+0.1 | 2.6+0.8 | 0.8 |

Табл. 16. Масова частка урану у воді (мг/л) за результатами різних методів вимірювань.

| Точка відбору | Альфаспектрометричний метод | | | | Мас-спектрометричний метод | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | ²³⁴ U, ат% | ²³⁵ U, ат% | ²³⁶ U, ат% | ²³⁸ U, ат% | ²³⁵ U, ат% | ²³⁶ U, ат% | ²³⁸ U, ат% |
| 1 | 0.015 | 1.1 | 0.25 | 98.63 | | | |
| 2 | 0.014 | 1.2 | 0.24 | 98.52 | 1.23 | 0.23 | 98.54 |
| 6 | 0.015 | 1.1 | 0.25 | 98.63 | 1.11 | 0.27 | 98.62 |
| 7 | 0.014 | 1.0 | 0.26 | 98.73 | | | |
| 20 | 0.014 | 1.1 | 0.25 | 98.63 | 1.10 | 0.22 | 98.28 |
| 21 | 0.016 | 1.0 | 0.26 | 98.73 | | | |

Табл. 17. Ізотопний склад урану у пробах води з об'єкта "Укриття".

| Лаб. No | Номер точки | Приміщення | Об'ємна активність, Бк/л, сум. Pu | Уран, мкг/л |
|---------|-------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1017 | 5 | 009/4, вісь І-Ж, ряд 49-50 | 2.8 | 8000 |
| 1016 | 9 | 101/2, вісь Е-Т, ряд 50-51 | 11.8 | 42.4 |
| 1015 | 20 | 001/3, труба з барбатера | 49.6 | 313.6 |
| 1014 | 27 | 207/5, скв. 3.065 | 12.6 | 379.2 |
| 1013 | 26 | 207/5, скв. 39 | 82 | 112.8 |
| 1012 | 24 | | 7.8 | 108.4 |

Табл. 18. Радіонуклідний склад проб води з приміщень об'єкта "Укриття", 23.02.95 р.

Наведені тут основні форми перебування ядерного палива в об'єкті "Укриття" значною мірою зумовлюють його ядерну та екологічну безпеку. Необхідно чітко сформулювати основні фактори ядерної та екологічної небезпеки об'єкта "Укриття":

- ядерні перетворення у фрагментах активної зони (Центральний зал не досліджено), у лавах під час взаємодії з водою. Важливий внесок (α, n) реакцій [34,35], які генерують до

50% нейтронів у ядерній магмі, β -перехід плутонію ^{241}Pu в ^{241}Am — інтенсивне джерело α -частинок [34–36].

Активність ^{241}Am : на час аварії 26.04.1986 — 0.29 Бк/мкг палива, а через 10 років на 26.04.1996 — 17 Бк/мкг палива;

- лавоподібний твердий аморфний стан ядерної магми перетворюється у ядерний пил, розміри частинок якого поступово зменшуються, переходячи у дрібнодисперсну фракцію [20,27];
- ймовірність ядерних пилових викидів збільшується внаслідок руйнування під постійною дією радіації внутрішніх споруд та конструкцій об'єкта “Укриття”;
- рухливість дрібнодисперсної фракції ядерного палива суттєво зростає внаслідок взаємодії з водою, що проникає всередину об'єкта “Укриття” через отвори, щілини у покрівлі і стінах та конденсації її з повітря на внутрішніх стінах об'єкта “Укриття”;
- взаємодія води з лавоподібним аморфним середовищем веде до поступового вилугування з нього радіоактивних елементів, які у водних розчинах утворюють гідроксокомплекси, що можуть виявляти колоїдні та полімерні властивості [27,32,37], а отже, концентруватись;
- взаємодія ядерної магми з водою внаслідок процесів α -, β -розпадів та γ -випромінювання приводить до радіолізу води. Продукти розкладу води (H_2O_2), радикали (OH , HO_2) активно беруть участь у процесах гідратації окисів урану, а атомарний водень H , групи OH — в процесах крихкості, руйнування магми [27,32,37,38]. Взаємодія цих процесів приводить до швидкого збільшення концентрації урану у воді (1991р. — до 4900 (мкг урану)/л, 1992р. — до 23000, 1993р. — до 14000, 1994р. — до 18000, 1995р. — до 19000);
- якщо ядерне паливо у лавоподібному аморфному середовищі перебуває у підкритичному стані, то нагромадження його у водоймах всередині об'єкта “Укриття” внаслідок взаємодії з водою може призводити до утворення полімерних структур та до збільшення концентрації радіоактивновмісних елементів у результаті набухання цих структур та випадання в осад разом з цілими фрагментами активної зони. Збільшується ймовірність локальних самопідтримуючих ланцюгових реакцій;
- радіоактивні елементи із “блочних” вод об'єкта “Укриття” можуть проникати у ґрунтові води і виноситись за межі об'єкта “Укриття”. За даними досліджень проб води у свердловинах промислового майданчика об'єкта “Укриття” концентрація стронцію та цезію збільшується;

- окис тритію у водоймах об'єкта “Укриття”.

Отже, фактор води в об'єкті “Укриття” гостро ставить проблему його безпеки. Якщо матеріяли засипки у зруйнованому реакторі сприяли значній деконцентрації паливних частинок і загасанню ядерних реакцій поділу, то процеси перетворення ядерної магми у пил та її взаємодії з водою значною мірою протилежні й можуть призводити до концентрування ядерного палива.

Особливо велике занепокоєння викликає стан фрагментів активної зони, окремі елементи і скупчення їх спостерігали після аварії навколо зруйнованого четвертого енергоблока. Фрагменти активної зони були викинуті вибухом на площадки вентиляційної труби, на покрівлі машинного залу третього енергоблока, однак, більша частина, очевидно, є в Центральному залі. В Центральний зал у процесі ліквідації наслідків аварії додатково були скинуті й фрагменти активної зони реактора з покрівель об'єкта.

У цьому контексті необхідно звернути особливу увагу на результати звітів [28,29]. У [28] були виконані комп'ютерні числові розрахунки коефіцієнтів ефективного розмноження нейтронів для системи, що моделює скупчення фрагментів активної зони реактора в різних приміщеннях об'єкта “Укриття”. Розрахунки засвідчили, що для скупчень фрагментів у барабан-сепараторах з урахуванням гетерогенності структури значення K_{ef} досягає 0.61, на схемі “Е” — до 0.88, а для скупчень у Центральному залі K_{ef} досягає 0.97. У [39] зазначено, що під час будь-якої переміщення конструктивних будівельних елементів об'єкта “Укриття”, які можуть призвести до зміни геометричної форми скупчень паливовмісних матеріалів, найбільш небезпечні ті зміщення, які можуть призвести до утворення ядерної магми сферичної форми. Найбільш небезпечним є руйнування конструкції схеми “Е” і падіння на скупчення фрагментів активної зони в Центральному залі та об'єднання їх з ядерною магмою в приміщенні 305/2. У випадку залиття їх водою на 0.2 м [28] ця ситуація може призвести до СЯЛР. Комп'ютерні моделювання, зроблене в [28], свідчать про те, що залиття водою ядерної магми, фрагментів активної зони при збільшенні процентного внеску UO_2 приводить до збільшення K_{ef} розмноження нейтронів, досягаючи в Центральному залі до 1.05 — надкритичного стану.

Підсумовуючи це, необхідно ствердити, що в об'єкті “Укриття” відбувається незворотний процес із зростаючою тенденцією виходу ядерного палива із ядерної магми у водойми всередині приміщень об'єкта. Це становить один з факторів ядерної безпеки об'єкта “Укриття”. Тому проблема взаємодії води з фрагментами активної зони реактора, лавами ядерної магми та ядерним пилом стає вкрай гострою, оскільки:

- вода, взаємодіючи з ядерною магмою, фрагментами активної зони, приводить до суттєвого збільшення ефективного коефіцієнта K_{ef} розмноження нейтронів [29,39,20,40] і, як резуль-

тат, — можливого виникнення локальних самопідтримуючих ядерних ланцюгових реакцій;

- вода шляхом її радіолізу та складних процесів вилуговування руйнує лави ядерної магми, спричинюючи неконтрольоване перенесення радіоактивних елементів усередині об'єкта і за його межами.

У результаті необхідно зробити важливий висновок, що основні форми перебування ядерного палива та зумовлені ним головні фактори ядерної та екологічної безпеки об'єкта "Укриття" в основному пов'язані з наявністю води. Фактор води, який почали ґрунтовно й інтенсивно обговорювати за останні три роки, повністю змінив акценти "Технічного обґрунтування ядерної безпеки (ТОЯБ-1990 [17]) об'єкта "Укриття".

Тут наведені далеко не всі фактори ядерної безпеки на четвертому реакторі Чорнобильської АЕС. Вони свідчать про те, що "Укриття" необхідно демонтувати, і це справа вже не тільки України, але й Європи, або й світу. Бо слід завжди пам'ятати, скільки непоправної біди для людей багатьох держав (у період аварії групи рутенієвих "гарячих" частинок були виявлені на територіях Польщі, Швеції і Фінляндії, за даними Міжнародного агентства з атомної енергії радіоактивні повітряні маси спостерігали над територіями Німеччини, Австрії, Італії, у деяких

країнах Азії та Північної Америки [41]) та навколишнього середовища завдали наслідки аварії.

Отже, проблеми об'єкта "Укриття" ті ж, що і в майбутньому кожної атомної електростанції у Росії, США, Франції, Німеччині, Японії, Україні, які вичерпали свої терміни експлуатації і повинні підлягати консервуванню, тільки з тією особливою різницею, що в об'єкті міститься ядерне паливо, остаточно кількість якого ще не з'ясована і перебуває в неконтрольованому стані. У зв'язку з цим потрібне негайне цілеспрямоване дослідження Центрального залу для визначення реальної кількості палива в об'єкті "Укриття".

На проблему води в об'єкті "Укриття" необхідно звернути увагу з погляду використання її для вилучення ядерного палива з об'єкта. Оскільки вода є одним із найважливіших факторів руйнування ядерної магми в об'єкті "Укриття" і виходу радіоактивних елементів у водойми, то контролювано відкачуючи її з об'єкта у спеціально споруджені місткості, можна поступово забирати ядерне паливо, що є в пиловому (зрошування пилу) та склоподібному стані (відбувається інтенсивне руйнування склоподібних лав). Відкачану радіоактивну воду з об'єкта "Укриття" можна контролювати у спеціальних ємностях і готувати до поступової переробки на радіохемокомбінаті.

Об'єкт "Укриття" повинен стати місцем інтенсивних міжнародних, міждержавних наукових та практичних досліджень з метою його демонтажу.

-
- [1] Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Информация подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ. (25–29 августа, 1986 г.) (ГКИАЭ, Москва, 1986).
- [2] А. А. Абагян, В. Г. Аманов, А. К. Гуськов, Атомная энергия **61**, 301 (1986).
- [3] Итоговый доклад о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. Серия издания по безопасности. Вена, IAEA, 75-INSAG-1, 1988.
- [4] В. Г. Асмолов, А. А. Боровой и др., АЭ **64**, 3, (1988).
- [5] А. А. Боровой, *Внутри и вне "Саркофага"*, Препринт ИАЭ им. И. В. Курчатова. Комплексная экспедиция. Чернобыль, 1990, 24 с; Природа **11**, 83 (1990).
- [6] В. Г. Бар'яхтар, Доп. АН України **4**, 150 (1992).
- [7] М. В. Пасічник, Доп. АН України **6**, 161 (1992).
- [8] Е. О. Адамов, А. Е. Домородов, Ю. В. Миронов, АЭ **75**, 336 (1993).
- [9] С. С. Абалін, В. Г. Бар'яхтар, С. Т. Беляев, та ін., Доп. АН України **1**, 116 (1994).
- [10] М. В. Пасечник, Доп. АН України **1**, 145 (1994).
- [11] А. П. Трохименко, Атомная техника за рубежом **1**, 3 (1991).
- [12] Н. А. Хижняк, *Пути создания безопасной экологически чистой атомной энергетики в Украине*, Препринт ННЦ ХФТИ-94-8, Харьков, 1994.
- [13] В. Л. Блинкин, В. М. Новиков, *Жидкосолевые ядерные реакторы* (Атомиздат, Москва, 1978).
- [14] В. М. Мурогов, М. Ф. Троянов, А. Н. Шмелев, *Использование тория в ядерных реакторах* (Энергоатомиздат, Москва, 1983).
- [15] Л. П. Феоктистов, УФН **163**, 89 (1993).
- [16] Ядерно-физические исследования отдела ядерной физики ННЦ ХФТИ в 1993 году. Обзор по данным отечественной и зарубежной печати 1959–1993 гг. Харьков, 1994.
- [17] Техническое обоснование ядерной безопасности объекта "Укрытие" Под ред. С. Т. Беляева, А. А. Борового, К. Г. Волкова и др. (Чернобыльская КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова, Москва, 1990).
- [18] Чернобыль. Пять трудных лет: Сб. материалов (Москва, 1992).
- [19] Избр. труды Междунар. конф. "Ядерные аварии и будущее энергетики". Уроки Чернобыля. (ИАЭ, Москва, 1992).
- [20] Основные научно-технические результаты, полученные в ОЯРБ в 1994 г. Чернобыль, 1994.
- [21] Э. М. Пазухин, Радиохимия **34**, 97 (1994).
- [22] Е. Б. Андерсон, С. А. Богатов, А. А. Боровой и др., *Лавообразные топливосодержащие массы объекта "Укрытие"*, Препринт АН Украины 93-17. Киев, 1993.
- [23] А. Н. Киселев, А. Ю. Ненагляднов, А. И. Сурин и др., *Экспериментальные исследования лавообразных топливосодержащих масс (ТСМ) на 4-м блоке ЧАЭС*, Препринт ИЭА-5533/3, Москва, 1992.
- [24] А. Н. Киселев, К. П. Чечеров, *Лавообразные то-*

- пливосодержащие массы на 4-м блоке Чернобыльской АЭС, Докл. на Междунар. симпоз. "Безопасность Укрытия - 94", 14-18 марта, 1994.
- [25] А. Н. Киселев, А. И. Сурин, К. П. Чечеров, *Результаты дополнительных исследований мест скопления лавообразных топливосодержащих масс на 4-м блоке ЧАЭС*, Препринт ИЭА-5783/3, Москва, 1994.
- [26] А. Н. Киселев, АЭ **78**, 256 (1995).
- [27] І. Р. Юхновський, М. В. Токарчук, *Проблеми 4-го енергоблоку Чорнобильської АЕС I. Огляд*, Препринт ІФКС-95-3У, Львів, 1995.
- [28] Отчет о научно-исследовательской работе "Обоснование ядерной безопасности объекта "Укрытие" на основе исследования динамики аварийных процессов". Инв. № 1515, Минск, 1991.
- [29] Расчетно-экспериментальные исследования характеристик нейтронных полей в местах скопления лавообразных топливосодержащих масс в помещениях 305/2 и 304/2 объекта "Укрытие". Отчет. Минск, 1994.
- [30] Акт об определении радионуклидного состава проб воды из помещений объекта "Укрытие" 23.02.1995. Чернобыль, 1995.
- [31] Е. Б. Андерсон, Б. Е. Бураков, Э. М. Пазухин, *Радиохимия* **5**, 135 (1992).
- [32] І. Р. Юхновський, О. Л. Іванків, В. В. Ігнатюк, Г. С. Дмитрів, М. В. Токарчук, *Проблеми опису ядерно-фізико-хімічних процесів у ядерній магмі в об'єкті "Укриття" I. Процеси радіолізу в системі "ядерна магма-вода"*, Препринт ІСМР-96-05U, Львів, 1996.
- [33] Отчет Института Атомной энергии им. И. В. Курчатова РАН. инв. No 11.07/118 от 12.03.1991. Чернобыль, 1991.
- [34] Разработка методики и оценка вклада (α, n)-реакций в интенсивность нейтронов, генерируемых в ЛТСМ в помещении 304/3 объекта "Укрытие". Техническая справка (НПЦ "Камертон", Минск, 1995).
- [35] Оценка вклада (α, n) реакций в интенсивность нейтронов, генерируемых в ЛТСМ в помещениях 305/2 объекта "Укрытие". Техническая справка (НПЦ "Камертон", Минск, 1995, с. 1-6).
- [36] І. Р. Юхновський, О. Є. Кобрин, А. О. Музичук, М. В. Токарчук, *Проблеми опису ядерно-фізико-хімічних процесів у ядерній магмі в об'єкті "Укриття" III. Статистичний опис процесів переносу в ядерній магмі*, Препринт ІСМР-96-07U, Львів, 1996.
- [37] Звіт відділу теоретичних проблем фізико-хімічних процесів в радіоактивних середовищах ВРТМ МНТЦ "Укриття" за 1995 рік. (Чернобыль, 1995).
- [38] І. Р. Юхновський, Р. І. Желем, І. П. Омелян, Є. М. Сов'як, М. В. Токарчук, *Проблеми опису ядерно-фізико-хімічних процесів у ядерній магмі в об'єкті "Укриття" II. Опис процесів дифузії в системі "ядерна магма-вода"*, Препринт ІСМР-96-06U, Львів, 1996.
- [39] Годовой отчет отдела разработки методик и систем анализа отделения радиационных технологий и материаловедения. МНТЦ НАН Украины "Укрытие", 1994.
- [40] *Результаты обследования скопленной воды в помещениях объекта "Укрытие". Предложения контролер. Отчет* (Чернобыль, 1993).
- [41] *Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред*, (Гидрометеиздат, Ленинград, 1990).

PROBLEMS OF INTERACTION BETWEEN WATER AND FUEL CONTAINING MASSES INSIDE THE OBJECT "SHELTER" OF CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

I. R. Yukhnovskii, A. E. Kobryn, V. V. Tokarevskii*, M. V. Tokarchuk
Institute for Condensed Matter Physics of the Ukrainian Acad. Sci.
 1 Svientsitskii Str., Lviv, UA-290011, Ukraine

*State specialized enterprise on radioactive and technogeneous wastes processing and burial "Techcenter"
 41 Radianska Str., Chornobyl, Kyiv Region, Ukraine

The main forms of the existence of nuclear fuel and major concomitant factors of nuclear and ecological danger of the object "Shelter" are presented. The processes of interaction between water and fuel containing materials have been analysed on the basis of experimental data.