



ІНСТИТУТ  
ФІЗИКИ  
КОНДЕНСОВАНИХ  
СИСТЕМ

УДК: 5.39.1, 66.085:66.093, 621.039.526

РАС: 05.60.+w, 28.20.Gd, 66.20.+d

**Проблеми 4-го енергоблоку Чорнобильської АЕС II. Сучасний стан ядерної магми в об'єкті "Укриття"**

І.Р.Юхновський, О.Є.Кобрин, В.В.Токаревський, М.В.Токарчук

**Анотація.** Представлені основні форми перебування ядерного палива та пов'язані з ним головні фактори ядерної та екологічної небезпеки об'єкту "Укриття".

**The problems of 4-th powerblock of Chornobyl NPS II. Present state of nuclear magma inside object "Shelter"**

I.R.Yukhnovskii, A.E.Kobryn, V.V.Tokarevskii, M.V.Tokarchuk

**Abstract.** Base forms of nuclear fuel and main factors of nuclear and ecology danger of the object "Shelter" are present.

ICMP-96-19U

І.Р.Юхновський, О.Є.Кобрин,  
В.В.Токаревський\*, М.В.Токарчук

ПРОБЛЕМИ 4-ГО ЕНЕРГОБЛОКУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС  
II. СУЧАСНИЙ СТАН ЯДЕРНОЇ МАГМИ В ОБ'ЄКТІ  
"УКРИТТЯ"

\*Державне спеціалізоване підприємство по переробці та захороненню технологічних відходів "Техноцентр", Київ-Чорнобиль.

Головною проблемою на Чорнобильській АЕС вже протягом десяти років залишається ядерно-фізико-хімічний стан палива зруйнованого атомного реактора четвертого енергоблоку. Першим і одним з найважливіших після аварії питань було скільки ядерного палива залишилось в 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” [1] пов’язане з взаємодією паливомістких матеріалів з водою всередині об’єкту “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’єкту “Укриття”.

На 26.04.1986 року на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС знаходилось 231.5 тон ядерного палива за ураном (розміщення і кількість його представлені в таблиці 1), в шахті реактора - 190.3 тони (215 тон  $UO_2$ ). В активній зоні реактора знаходилось до 700 кіло-

| № 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 4-му енергоблоці перед аварією.

грамів плутонію ( $^{239}Pu \sim 420$  кг,  $^{240}Pu \sim 175$  кг,  $^{241}Pu \sim 50$  кг,  $^{242}Pu \sim 15$  кг). Після аварії за офіційними даними МАГАТЕ [2–5] в об’єкті “Укриття” міститься  $\sim 96\%$  ядерного палива. Протягом 10 років Комплексною експедицією Курчатовського інституту атомної енер-

гії РАН, а з 1992 р. – МНТЦ НАН України встановлено, що шахта ядерного реактора практично пуста. Ядерне паливо в різних формах знаходиться: в Центральному залі - фрагменти активної зони, в приміщеннях паророзподільного коридора (ПРК), підпаратних приміщеннях (305/2, 304/2 і інших, 217/2), в басейні-барбатурі (перший та другий поверхи) - лавоподібні паливомісткі маси - ядерна магма. За даними теплотричних вимірювань в ядерній маг-

| Назва приміщення   | Висотна відмітка, м | Маса палива, т |
|--|---------------------|----------------|
| Басейн барбатурі:  |                     |                |
| 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                                     | 10.0                | 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.

| Назва приміщень                              | К-ть палива | Метод визнач. урану                          |
|--|-------------|--|
| Приміщення 305/2                             | 75±25(-35)  | Теплотричний                                 |
| Паророзподільний коридор                     | 25±11       | Теплотричний 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 з допомогою додаткових методик вимірювання.

мі міститься 135±30 тон  $UO_2$  [6–9], на 1994 рік після додаткових вимірювань - 70÷90 тон [10,11]. В таблиці 2 подано розміщення та

кількість ядерного палива в лавоподібних масах, а в таблиці 3 – його кількість після додаткових вимірювань. Зокрема, в таблиці 4 [8] при-

| Назва приміщень,<br>(відмітка)  | Вид паливомістких мас<br>(ПМ)  | Оцінка<br>кількості<br>палива в<br>ПМ в т (U) |
|---|--|---|
| Центральний зал (35.50)<br>Інші верхні приміщення<br>блоку                | Фрагменти активної зо-<br>ни засипані матеріалами.<br>В області схеми “Є”            | ?   |
| Центральний зал (35.50)   | Свіже паливо, заготоване<br>для завантаження   | 2 - 2,5                                       |
| Південний басейн<br>витримки (18.00 - 35.50)                              | Відпрацьоване паливо   | 20  |
| Більшість приміщень   | Ядерний пил. Гарячі<br>паливні частинки  | 10  |
| Підапаратне<br>приміщення 305/2<br>(9.00) + схема “ОР”<br>+шахта реактора | Лавоподібні<br>паливомістні маси<br>(ЛПМ) - ядерна магма,<br>фрагменти активної зони | 75 + 25                                       |
| Паророзподільний<br>коридор ПРК (6.00) з<br>врахуванням ПВМ               | Ядерна магма   | 25 + 11 т                                     |
| Басейн-барбатер 2-ий<br>поверх (ББ-2)                                     | Ядерна магма   | 8 + 3 т                                       |
| Басейн - барбатер 1-ий<br>поверх (ББ-1)                                   | Ядерна магма   | 1.5 + 0.7                                     |
| 304/3, 303/3,<br>301/5, 301/6,<br>“Слонова нога” та інш.                  | Ядерна магма   | 11 + 5  |
| Приміщення<br>реакторного блоку.<br>ВСРО, машинний зал                    | Вода з розчиненими<br>солями урану   | 3000 куб.м<br>води                            |

Табл. 4: Розподіл ядерної магми ЛПМ в приміщеннях об'єкту “Укриття”.

ведено дані розміщення в об'єкті “Укриття” різних форм знаходження ядерного палива та його кількість. За даними прямих вимірювань [12–15] -  $23.8 \div 4.5$  тон  $UO_2$ . В таблиці 5 приведені дані розміщення та кількість ядерного палива в лавоподібних масах, визначені прямим вимірюванням, а в таблиці 6 – результати після додаткових вимірювань.

Таким чином, проводячи аналіз даних в таблицях 1 – 6, і, якщо в Центральному залі оцінювати кількість ядерного палива від 15 до 40 тон, то грубі оцінки показують, що протягом 10 років не контро-

люється не менше 100 тон ядерного палива! Безперечно, можна ви-

| Назва приміщення                         | Висотна<br>відмітка, м | Маса палива,<br>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             | 10.0                   | 75±25             |
| Приміщення 304/3, 301/5,<br>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.

| Назва приміщень                          | Об'єм, м <sup>3</sup> | К-ть діоксиду урану, т |
|--|-----------------------|------------------------|
| ББ-1                                     | 2                     | 0.4±0.1                |
| ББ-2                                     | 10                    | 2.2±0.3                |
| Паророзподільний<br>коридор              | 22.5                  | 3.75±0.6               |
| Приміщення 304/2                         | 74.5                  | 11.6±1.9               |
| Приміщення 304/3,<br>301/5, 303/3, 301/6 | 57                    | 5.2±1.4                |
| Приміщення 217/2                         | 3                     | 0.3±0.1                |
| Всього                                   | 169                   | 23.45±4.4              |

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

словлювати критичні зауваження відносно обидвох методів вимірювань: теплотричного та прямого, однак проблема залишається і далі не з'ясованою.

На даний час встановлені основні форми перебування ядерного палива після аварії на ЧАЕС в об'єкті “Укриття” [8,16]:

- паливо у вигляді таблеток діоксиду урану  $UO_2$  в твелах ТВС та їх фрагменти – найбільш небезпечна форма, значна частина якої знаходиться в Центральному залі. За 10 років Центральный зал майже не досліджувався у зв'язку з складним радіаційним становищем та технічним станом. Математичне

моделювання [17,18] взаємодії фрагментів активної зони з водою для певного об'єму в Центральному залі вказує на можливість значень ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів більших від одиниці;

- ядерний пил – гарячі паливні частинки, біля 15 тон за ураном [8];
- лавоподібна ядерна магма – утворення, що виникло із вистигання розплаву ядерного палива з матеріалами засипки (доломіт, свинець, пісок, глина, сполуки з бором та інше) [8,9,12–15]:
  - коричнева кераміка – коричнева склоподібна маса з середньою густиною від 1.6 до 3.15 г/см<sup>3</sup> 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/см<sup>3</sup> 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/см<sup>3</sup> – утворення внаслідок взаємодії розплаву ядерного палива і води. В таблиці 7 приведені радіологічні властивості радіонуклідів, які знаходились в об'єкті “Укриття” на 26.04.1994р. Характеристика різних зразків ядерної магми приведена в таблиці 8, а в таблиці 9 подані значення за глибиною вигорання, процентним вмістом U та значення α-активності ізотопів <sup>238–240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, <sup>242</sup>Cm, <sup>244</sup>Cm. Зокрема, в таблиці 10 приведено процентний склад ізотопів <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>236</sup>U, <sup>238</sup>U та <sup>238</sup>U/<sup>235</sup>U, <sup>235</sup>U/<sup>236</sup>U в різних зразках: паливна частинка, ґрунт, лавоподібні паливомістки маси. Середній хімічний склад лавоподібних мас та конструкційних матеріалів зруйнованого реактора приведені в таблиці 11.
- водні розчини солей урану, що утворились внаслідок взаємодії ядерної магми з природною та техногенною водою. В приміщеннях об'єкту “Укриття” є біля 3000 кубометрів води за даними ЧАЕС, причому біля 2000 м<sup>3</sup> сконцентровано в машинному

| Нуклід                                 | Група | Період піврозп.              | Сумарна активність, Бк                       | Питома активність, Бк/г U                  | Повна маса, кг                                   | Хімічний стан   | Фізичний стан                                | Розчинність | Група радіаційної небезпеки |
|--|-------|------------------------------|--|--|--|---|--|-------------|-----------------------------|
| <sup>14</sup> C                        | III   | 5.73·10 <sup>6</sup> р       | 5·10 <sup>10</sup>                           | 6.25·10 <sup>4</sup>                       | 0.3  | Хімічно незв'язаний стан                              | В графітовій кладці                          | НР          | Г                           |
| <sup>60</sup> Co                       | III   | 5.27 р                       | 1.0·10 <sup>10</sup>                         | 9.8·10 <sup>8</sup>                        | 0.24   | Металічні включення в сталій матриці, оксиди          | В металоконструкціях, в осадах трубопроводів | НР          | В                           |
| <sup>90</sup> Sr                       | I     | 28.6 р                       | 1.9·10 <sup>11</sup>                         | 9.9·10 <sup>8</sup>                        | 37   | Оксиди, ураніти                                       | Паливні фрагменти ЛПМ, пил                   | Р           | Б                           |
| <sup>90</sup> Y                        | I     | 64.1 год                     | 1.9·10 <sup>11</sup>                         | 9.9·10 <sup>8</sup>                        | 9.4·10 <sup>8</sup>                              | Оксиди, можуть розчинятися в UO <sub>2</sub>          | /-/  | НР          | В                           |
| <sup>106</sup> Ru ( <sup>106</sup> Rh) | I     | 368.2 д (29.2 с)             | 7.2·10 <sup>10</sup>                         | 3.8·10 <sup>7</sup>                        | 2.9·10 <sup>2</sup><br>2.7·10 <sup>8</sup>       | Металічні включення                                   | /-/  | НР          | Б                           |
| <sup>125</sup> Sb<br><sup>126</sup> Te | I     | 2.77 р (58 д)                | 3.3·10 <sup>10</sup>                         | 1.7·10 <sup>7</sup>                        | 7.0·10 <sup>2</sup><br>9.8·10 <sup>4</sup>       | /-/   | /-/  | НР          | Б                           |
| <sup>137</sup> Cs                      | I     | 2.06 р                       | 1.2·10 <sup>10</sup>                         | 6.1·10 <sup>7</sup>                        | 0.24   | Пара при T>1000, оксиди, T<1000°C                     | /-/  | Р           | В                           |
| <sup>144</sup> Ce ( <sup>144</sup> Pr) | I     | 30.17 р<br>284.3 д (17.28 х) | 2.2·10 <sup>11</sup><br>5.6·10 <sup>10</sup> | 1.1·10 <sup>8</sup><br>3.0·10 <sup>7</sup> | 67<br>2.4·10 <sup>2</sup><br>1.0·10 <sup>6</sup> | /-/   | /-/  | Р<br>НР     | В<br>Б                      |
| <sup>147</sup> Pm                      | I     | 2.62 р                       | 1.0·10 <sup>11</sup>                         | 5.3·10 <sup>8</sup>                        | 2.9  | /-/   | /-/  | НР          | В                           |
| <sup>151</sup> Sm                      | I     | 90 р                         | 6.1·10 <sup>10</sup>                         | 3.2·10 <sup>7</sup>                        | 6.3  | /-/   | /-/  | НР          | В                           |
| <sup>156</sup> Eu                      | I     | 8.8 р                        | 7.2·10 <sup>10</sup>                         | 3.8·10 <sup>7</sup>                        | 0.74   | /-/   | /-/  | НР          | В                           |
| <sup>156</sup> Eu                      | I     | 4.96 р                       | 3.8·10 <sup>10</sup>                         | 2.0·10 <sup>7</sup>                        | 0.22   | /-/   | /-/  | НР          | В                           |
| <sup>238</sup> Pu                      | II    | 87.75 р                      | 1.4·10 <sup>10</sup>                         | 7.5·10 <sup>8</sup>                        | 2.2  | Оксиди, можуть розчинятися частково в UO <sub>2</sub> | /-/  | НР          | А                           |
| <sup>239</sup> Pu                      | II    | 2.41·10 <sup>4</sup> р       | 9.6·10 <sup>14</sup>                         | 5.1·10 <sup>9</sup>                        | 420  | /-/   | /-/  | НР          | А                           |
| <sup>240</sup> Pu                      | II    | 6.54·10 <sup>6</sup> р       | 1.6·10 <sup>15</sup>                         | 8.2·10 <sup>9</sup>                        | 190  | /-/   | /-/  | НР          | А                           |
| <sup>241</sup> Pu                      | II    | 14.4 р                       | 1.3·10 <sup>14</sup>                         | 6.6·10 <sup>8</sup>                        | 34   | /-/   | /-/  | НР          | Б                           |
| <sup>241</sup> Am                      | II    | 432.2 р                      | 2.1·10 <sup>15</sup>                         | 1.1·10 <sup>9</sup>                        | 17   | /-/   | /-/  | НР          | А                           |
| <sup>242</sup> Pu                      | II    | 3.76·10 <sup>5</sup> р       | 2.6·10 <sup>14</sup>                         | 1.3·10 <sup>9</sup>                        | 18   | /-/   | /-/  | НР          | А                           |
| <sup>243</sup> Am                      | II    | 7.38·10 <sup>4</sup> р       | 9.7·10 <sup>14</sup>                         | 5.1·10 <sup>9</sup>                        | 1.3  | /-/   | /-/  | НР          | А                           |
| <sup>243</sup> Cm                      | II    | 18.11 р                      | 2.14·10 <sup>14</sup>                        | 1.3·10 <sup>9</sup>                        | 7.8·10 <sup>2</sup>                              | /-/   | /-/  | НР          | А                           |

Табл. 7: Радіологічні властивості радіонуклідів, що знаходяться в об'єкті “Укриття” (на 26.04.1994р.). Таблиця складена: С.І.Івановим, Е.М.Пазухінім та В.Г.Щербінім. Питома активність приведена в Бк на 1 г ядерного палива, для <sup>14</sup>C – в Бк на 1 г графіту, для <sup>60</sup>Co – в Бк на 1 г сталі.

залі, з яких контролюється практично біля 1000 м<sup>3</sup>. 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'єкту "Укриття" – кілька кілограмів [8]. У звіті ВЯРБ МНТЦ "Укриття" за

| № 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 краплинами                            | 02.89 р.                |
| 3       | k-3          | Графіт з краплинами темних кульок розмірами в долі мм               | 02.89 р.                |
| 4       | k-4          | Склоподібна чорна маса схожа на антрацит                            | 02.89 р.                |
| 5       | k-5          | Чорна маса схожа на бетон   | 12.88 р.                |

Табл. 8:

| № проби                      | 1                    | 2                    | 3                    | 4                    | 5                    |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Вигорання МВт доба/т 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 ізотопів, Бк/гU |                      |                      |                      |                      |                      |
| <sup>238</sup> Pu            | 0.73·10 <sup>4</sup> | 0.72·10 <sup>4</sup> | 0.98·10 <sup>4</sup> | 0.64·10 <sup>4</sup> | 0.43·10 <sup>4</sup> |
| <sup>239</sup> Pu            | 0.53·10 <sup>4</sup> | 0.61·10 <sup>4</sup> | 0.80·10 <sup>4</sup> | 0.49·10 <sup>4</sup> | 0.29·10 <sup>4</sup> |
| <sup>240</sup> Pu            | 0.81·10 <sup>4</sup> | 0.93·10 <sup>4</sup> | 1.22·10 <sup>4</sup> | 0.74·10 <sup>4</sup> | 0.44·10 <sup>4</sup> |
| <sup>241</sup> Am            | 0.54·10 <sup>4</sup> | 0.57·10 <sup>4</sup> | 0.75·10 <sup>4</sup> | 0.44·10 <sup>4</sup> | 0.26·10 <sup>4</sup> |
| <sup>242</sup> Cm            | 0.38·10 <sup>4</sup> | 0.32·10 <sup>4</sup> | 0.46·10 <sup>4</sup> | 0.33·10 <sup>4</sup> | 0.21·10 <sup>4</sup> |
| <sup>244</sup> Cm            | 0.16·10 <sup>4</sup> | 0.15·10 <sup>4</sup> | 0.20·10 <sup>4</sup> | 0.12·10 <sup>4</sup> | 0.77·10 <sup>4</sup> |

Табл. 9:

1994 рік приведено дані радіонуклідного складу води в об'єкті "Укриття" в різних точках відбору проб. Аналіз проб з різних місць об'єкту показав, що протягом 1994 року спостерігалось тенденційне зростання концентрації урану у водоймах. В таблиці 12 для порівняння приведено мінімальний і максимальний питомий вміст радіонуклідів у водоймах приміщень об'єкту "Укриття" за 4 роки [8]. Як бачимо, питома вага цезію, стронцію, плутонію та урану у воді зростає. З листопада 1992

| № п/п | Тип зразка                    | <sup>234</sup> U % | <sup>235</sup> U % | <sup>236</sup> U % | <sup>238</sup> U % | <sup>238</sup> U/ <sup>235</sup> U | <sup>235</sup> U/ <sup>236</sup> U |
|-------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1     | Паливна частинка              | 0.018              | 0.90               | 0.19               | 98.99              | 109.9                              | 4.77                               |
| 2     | ---                           | 0.018              | 1.00               | 0.18               | 98.80              | 98.8                               | 5.56                               |
| 3     | ---                           | 0.018              | 0.98               | 0.18               | 98.82              | 100.8                              | 5.44                               |
| 4     | Грунт                         | 0.016              | 1.17               | 0.16               | 98.65              | 84.32                              | 7.32                               |
| 5     | Лавоподібні паливомісткі маси | 0.015              | 1.03               | 0.18               | 98.77              | 95.8                               | 5.58                               |
| 6     | ---                           | 0.015              | 0.97               | 0.17               | 98.84              | 102.4                              | 5.53                               |

Табл. 10: Ізотопний склад урану в паливомістких частинках та ЛПМ, масова доля.

року спостерігається ріст (приблизно в 5 раз) максимальної питомої ваги урану і плутонію в пробах води. Середні значення концентрації урану у водоймах в різних приміщеннях об'єкту за роками приведені в таблиці 13. Дані значень концентрацій <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, Pu та U у воді з різних точок відбору та часу протягом 1994 року [8] з приміщень об'єкту "Укриття" приведені в таблиці 14.

Аналіз проб води з різних точок відбору на вміст хімічних елементів U, Pb, Zn, Ni, Fe був проведений рентгенофлюоресцентним методом, результати якого приведені в таблиці 15. В таблиці 16 приведена масова доля урану у воді за результатами різних методів вимірювань: лазернолюмінесцентним, спектрофотометричним, рентгенофлюоресцентним. За α-спектроскопічним та мас-спектроскопічним методами були проведені дослідження на ізотопний склад урану в пробах води з об'єкту "Укриття", таблиця 17. Результати досліджень ([26], таблиця 18), проведених 23.02.1995 року вказують на тенденційне зростання концентрації урану у водоймах приміщень об'єкту "Укриття";

- мінеральні новоутворення урану на поверхні ядерної магми [8, 14,19,20]:
  - UO<sub>3</sub>2H<sub>2</sub>O – епіанітиніт;
  - UO<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – ретзерфордин;
  - UO<sub>3</sub>1.6CO<sub>3</sub>1.91H<sub>2</sub>O, UO<sub>4</sub>4H<sub>2</sub>O – студитіт;

| Елемент | Пісок | Серпенти-<br>ніт                           | Будівель-<br>ний<br>бетон | Лавоподіб-<br>ні паливо-<br>місткі<br>маси |
|---------|-------|--|---------------------------|--|
| O       | 50.0  | 52.0                                       | 47.7                      | немає 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2.1-<br>2.6 | 1.12                      | 1.2  |
| Al      | 3.7   | FeO 0.16-1.6                               | 3.8                       | 3.8  |
| Mn      | -     | 1.0  | не зрайдено               | 0.37                                       |
| Cr      | -     | -  | /-/                       | 0.19                                       |
| Ni      | -     | -  | /-/                       | 0.18                                       |
| Ba      | -     | -  | /-/                       | 0.13                                       |
| Ti      | -     | -  | /-/                       | 0.12                                       |

Табл. 11: Хімічний склад лавоподібних паливомістких мас та конструкційних матеріалів зруйнованого 4-го блоку ЧАЕС, (мас. %).

– Na<sub>4</sub>UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> з вмістом до 55% UO<sub>2</sub>. Дані мінерали добре розчиняються у воді. У звіті Інституту атомної енергії ім. І.В.Курчатова РАН [27] приведені результати досліджень жовтих та жовто-коричневих новоутворень [19] на поверхні ядерної магми приміщення 210/6 на вміст ізотопів урану <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U. Відзначається відносно високий вміст урану <sup>234</sup>U, а <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U в 1.6 раза перевищує нормальне відношення <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U для РБМК-1000. Звідси слідує висновок, що процеси утворення жовтих та жовто-коричневих кристалічних наростів на поверхні ядерної магми за рахунок складних фізико-хімічних 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'єкту "Укриття";

- хімічні осади з вмістом урану, плутонію, кюрію, америцію,

| Радіонукліди                    | Період<br>спостереження | Мінімальне<br>значення | Максимальне<br>значення |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| <sup>137</sup> Cs<br>Бк/л       | 1991                    | 9·10 <sup>4</sup>      | 7·10 <sup>7</sup>       |
|                                 | 1992                    | 2·10 <sup>4</sup>      | 6·10 <sup>7</sup>       |
|                                 | 1993                    | 3·10 <sup>3</sup>      | 9·10 <sup>9</sup>       |
|                                 | 1994                    | 2·10 <sup>3</sup>      | 2·10 <sup>8</sup>       |
| <sup>90</sup> Sr<br>Бк/л        | 1991                    | 8·10 <sup>3</sup>      | 2·10 <sup>6</sup>       |
|                                 | 1992                    | 1·10 <sup>3</sup>      | 1·10 <sup>6</sup>       |
|                                 | 1993                    | 1·10 <sup>2</sup>      | 2·10 <sup>6</sup>       |
|                                 | 1994                    | 6·10 <sup>2</sup>      | 6·10 <sup>6</sup>       |
| Сумарно за<br>плутонієм<br>Бк/л | 1991                    |                        | 860                     |
|                                 | 1992                    |                        | 3400                    |
|                                 | 1993                    |                        | 2600                    |
|                                 | 1994                    |                        | 2600                    |
| U<br>мкг/л                      | 1991                    |                        | 4900                    |
|                                 | 1992                    |                        | 23000                   |
|                                 | 1993                    | 4.0                    | 14000                   |
|                                 | 1994                    | 5.0                    | 18000                   |

Табл. 12:

стронцію, цезію у водних розчинах в об'єкті "Укриття".

Наведені тут основні форми перебування ядерного палива в об'єкті "Укриття" у значній мірі обумовлюють його ядерну та екологічну безпеку. Необхідно чітко сформулювати основні фактори ядерної та екологічної небезпеки об'єкту "Укриття":

- ядерні перетворення в фрагментах активної зони (Центральний зал не досліджено) в лавах при взаємодії з водою. Важливий вклад ( $\alpha, n$ ) реакцій [21,22], які генерують до 50% нейтронів в ядерній магмі,  $\beta$ -перехід плутонію <sup>241</sup>Pu в <sup>241</sup>Am – інтенсивне джерело  $\alpha$ -частинок [21–23];
- лавоподібний твердий аморфний стан ядерної магми перетворюється у ядерний пил, розміри частинок якого поступово

| N точки | Приміщення                        | Концентрація, (мкг/л) |       |       |
|---------|-----------------------------------|-----------------------|-------|-------|
|         |                                   | 1991                  | 1992  | 1993  |
| 1       | 009/4<br>(відм. 0.0)              | 18                    | 400   | 1100  |
| 2       | 101/2<br>(відм. 2.20)             |                       | 80    | 100   |
| 3       | 01/3<br>(відм. 2.3)<br>скв. р. у. | 490                   | 820   | 760   |
| 4       | 00914<br>(відм. 3.0)              |                       | 625   | 1260  |
| 5       | 012/13-15<br>(південь)            | 6800                  |       | 9300  |
| 6       | 012/15<br>(північ)                |                       | 11800 | 5900  |
| 7       | 012/16<br>(північ)                | 4900                  | 1200  | 5050  |
| 8       | 012/15<br>(північ)                | 50                    |       | 9200  |
| 9       | 012/14<br>(північ)                | 400                   | 240   | 5700  |
| 10      | 012/13<br>(північ)                | 3200                  |       | 13100 |
| 11      | 207/5<br>скв.3-9-III              |                       |       | 1350  |
| 12      | 205/5<br>скв.3-9.65               |                       |       | 353   |
| 13      | 405/2<br>(відм.12,5)              |                       | 170   | 150   |
| 14      | 406/3<br>(відм.12,5)              |                       |       | 215   |

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

зменшуються, переходячи у дрібнодисперсну фракцію [8,16];

- ймовірність ядерних пилових викидів зростає внаслідок руйнування під постійною дією радіації внутрішніх споруд та конструкцій об'єкту "Укриття";
- рухливість дрібнодисперсної фракції ядерного палива суттєво зростає внаслідок взаємодії з водою, що проникає всередину об'єкту "Укриття" через отвори, щілини у покрівлі і стінах та конденсації її з повітря на внутрішніх стінах об'єкту "Укриття";

| Точка відбору | Дата, 1994 рік | Об'ємна активність, Бк/л |                       |                      |         | Уран, мкг/л |
|---------------|----------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------|
|               |                | Cs-137, $\times 10^7$    | Cs-134, $\times 10^6$ | Sr-90, $\times 10^6$ | Сум. Pu |             |
| 1             | 26.01          | 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        |
| 3             | 05.07          | 4.1                      | 1.5                   | 25                   | -       | 6325        |
| 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             | 24.05          | 3.3                      | 1.2                   | 2.9                  | 253     | 1008        |
| 7             | 05.07          | 3.1                      | 1.2                   | 16                   | 300     | 4359        |
| 8             | 07.12.93       | -                        | -                     | 0.07                 | 0.9     | 35          |
| 8             | 10.01          | 0.00053                  | -                     | 0.015                | 0.7     | -           |
| 8             | 16.03          | 0.00018                  | -                     | 0.029                | 1.1     | 5           |
| 8             | 17.01          | 0.00043                  | -                     | 9.3                  | 92      | 1364        |
| 13            | 17.02          | 21                       | 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'єкту "Укриття".

| No точки відбору | Концентрація хімічних 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 хімічних елементів рентгенофлюоресцентним методом.

| No точки відбору | Лазернолюмінісцентний метод | Спектрофотометричний метод | Рентгенофлюоресцентний метод | Середні знач. в точці за 3 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:

- взаємодія води з лавоподібним аморфним середовищем веде до поступового вилужування з нього радіоактивних елементів, які у водних розчинах утворюють гідросокомплекси, що можуть проявляти колоїдні та полімерні властивості [16,20,24];
- взаємодія ядерної магми з водою внаслідок процесів  $\alpha$ -,  $\beta$ -розпадів та  $\gamma$ -випромінювання приводить до радіолізу води. Продукти розкладу води ( $H_2O_2$ ), радикали (ОН,  $HO_2$ ) активно приймають участь в процесах гідратації окисів урану, а атомарний водень Н, групи ОН – в процесах крихкості, руйнування магми [16,20,24,25]. Взаємодія цих процесів приводить до швидкого збільшення концентрації урану у воді (1991р. – до 4900 (мкг урану)/л, 1992р. – до 23000 (мкг урану)/л, 1993р. – до 14000(мкг урану)/л, 1994р. – до 18000 (мкг урану)/л, 1995р. – до 14000 (мкг урану)/л);
- якщо ядерне паливо у лавоподібному аморфному середовищі знаходиться у підкритичному стані, то нагромадження його у водоймах всередині об'єкту "Укриття" внаслідок взаємодії з водою може приводити до утворення полімерних структур та

| Точка відбору | Альфаспектрометричний метод |                 |                 |                 | Масспектрометричний 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:

| Лаб. No | No точки | Приміщення                 | Об'ємна активність, Бк/л, сум. Pu | Уран, мкг/л |
|---------|----------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1017    | 5        | 004/4, вісь І-Ж, ряд 49-50 | 2.8                               | 11.09       |
| 1016    | 9        | 101/2, вісь Е-Т, ряд 50-51 | 11.8                              | 42.4        |
| 1015    | 20       | 001/3, труба з барбatera   | 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'єкту "Укриття", 23.02.95р.

до підвищення концентрації радіоактивністких елементів в результаті набухання цих структур та випадання в осад разом з цілими фрагментами активної зони. Збільшується ймовірність виникнення критичної маси і локальних самопідтримуючих ланцюгових реакцій;

- радіоактивні елементи із "блочних" вод об'єкту "Укриття" можуть проникати у ґрунтові води і виноситись за межі об'єкту "Укриття". За даними досліджень проб води у свердловинах промислового майданчику об'єкту "Укриття" концентрація стронцію та цезію збільшується;
- окис тритію у водоймах об'єкту "Укриття".

Таким чином фактор води в об'єкті "Укриття" гостро ставить



проблему його безпеки. Якщо матеріали засипки у зруйнованому реакторі сприяли до значної деконцентрації паливних частинок і загасанню ядерних реакцій поділу, то процеси перетворення ядерної магми у пил та її взаємодії з водою в значній мірі протилежні й можуть приводити до концентрування ядерного палива.

Особливо велике занепокоєння викликає стан фрагментів активної зони, окремі елементи і скупчення їх спостерігались після аварії навколо зруйнованого 4-го енергоблоку. Фрагменти активної зони були викинуті вибухом на площадки вентиляційної труби, на покрівлі машинного залу 3-го енергоблоку, однак, більша частина, очевидно, знаходиться в Центральному залі. В Центральний зал в процесі ліквідації наслідків аварії додатково були скинуті й фрагменти активної зони реактора з покрівель об'єкту.

В данному контексті необхідно звернути особливу увагу на результати звітів [17,18]. В [17] були проведені комп'ютерні числові розрахунки коефіцієнтів ефективного розмноження нейтронів для системи, що моделює скупчення фрагментів активної зони реактора в різних приміщеннях об'єкту "Укриття". Розрахунки показали, що для скупчень фрагментів в барабан-сепараторах з врахуванням гетерогенності структури значення  $K_{ef}$  досягає 0.61, на схемі "Е" – до 0.88, а для скупчень в центральному залі  $K_{ef}$  досягає 0.97. У [28] вказується, що при любых переміщеннях конструктивних будівельних елементів об'єкту "Укриття", які можуть привести до зміни геометричної форми скупчень паливомістких матеріалів, найбільшу небезпеку несуть ті зміщення, котрі можуть привести 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 [17] ця ситуація може привести до СЯЛР. Комп'ютерні моделювання, проведені в [17], вказують на те, що залиття водою ядерної магми, фрагментів активної зони при збільшенні процентного вкладу  $UO_2$  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 незворотній процес із зростаючою тенденцією виходу ядерного палива із ядерної магми у водойми всередині приміщень об'єкту. Це становить один із факторів ядерної безпеки об'єкту "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, приводить до суттєвого збільшення ефективного коефіцієнта  $K_{ef}$  розмноження нейтронів [18,28,8,29] і, як результат – можливого виникнення локальних самопідтримуючих ядерних ланцюгових реакцій (СЯЛР);
- вода шляхом її радіолізу та складних процесів вилучування руйнує лави ядерної магми, спричиняючи неконтрольоване перенесення радіоактивних елементів всередині об'єкту і за його межами.

В результаті необхідно зробити важливий висновок, що основні форми перебування ядерного палива та зумовлені ним головні фактори ядерної та екологічної небезпеки об'єкту "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 [1]) об'єкту "Укриття"".

### Необхідні заходи

- негайне цілеспрямоване дослідження Центрального залу для встановлення реальної кількості палива в об'єкті "Укриття"; створення міжнародної групи експертів;
- використання факторів руйнування ядерної магми під дією води для переведення її у розчини допустимих концентрацій з метою виводу з об'єкта "Укриття" та подальшої переробки;
- розгляд питання про якнайшвидше спорудження радіохімічного бінату для переробки радіоактивної води та радіоактивних відходів з об'єкту "Укриття".

### Пропозиції

**На проблему води в об'єкті "Укриття" необхідно звернути увагу з точки зору використання її для вилучення ядерного палива із об'єкту.**

1. 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 ємності, можна поступово забирати

- ядерне паливо, що знаходиться в пиловому стані (зрошування пилюки) та склоподібному стані (відбувається інтенсивне руйнування склоподібних лав);
2. Відкачана радіоактивна вода з об'єкту "Укриття" може контролюватись у спеціальних ємностях і готуватись до поступової переробки на радіохімікомбінаті, який необхідно побудувати замість спорудження "Укриття-2".
  3. Необхідно призупинити проект побудови "Укриття-2", бо цей об'єкт не вирішить жодної проблеми, пов'язаної зі знешкодженням форм ядерного палива та основними факторами ядерної та екологічної небезпеки об'єкту "Укриття".

**"Укриття-2" – це нова оболонка, яка лише перешкоджатиме контрольованому виводу ядерного палива з об'єкту "Укриття", а саме це є єдиним надійним шляхом вирішення проблеми безпеки об'єкту "Укриття".**

## Література

- [1] Техническое обоснование ядерной безопасности объекта "Укрытие". Под ред. С.Т.Беляева, А.А.Борового, К.Г.Волкова и др. М., Чернобыльская КЭ при ИАЭ им. И.В.Курчатова, 1990, 160 с.
- [2] Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Информация подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ. (25-29 августа, 1986г.) - М.: ГКИАЭ, СССР, 1986.
- [3] Абагян А.А., Аманов В.Г., Гуськов А.К. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствия, подготовленная для МАГАТЭ.// Атом. энерг. - 1986 - Т.61, вып.3 - С.301-320.
- [4] Итоговый доклад о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. Серия издания по безопасности. Вена.: IAEA. 75-INSAG-1., 1988.
- [5] Асмолов В.Г., Боровой А.А. и др. Авария на Чернобыльской АЭС: год спустя.// Атом. энерг. - 1988 - Т.64, вып.1 - С.3-23.
- [6] Чернобыль. Пять трудных лет. Сборник материалов. Москва, 1992.
- [7] Избранные труды Международной конференции "Ядерные аварии и будущее энергетики". Уроки Чернобыля.- М.; ИАЭ, 1992.
- [8] Основные научно-технические результаты, полученные в ОЯРБ в 1994 г. Чернобыль, 1994, 137 с.
- [9] Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: Топография, физико-химические свойства, сценарий образования. // Радиохимия, 1994, том 34, No 2, с. 97-142.
- [10] Андерсон Е.Б., Богатов С.А., Боровой А.А. и др. Лавообразные топливосодержащие массы объекта "Укрытие". Препринт АН Украины 93-17. Киев., 1993.-44с.

- [11] Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС.: Топография, физико-химические свойства, сценарий образования. // Радиохимия.-1994.-Т.34, N 2.-С.97-142.
- [12] Киселев А.Н., Ненаглядов А.Ю., Сурин А.И. и др. Экспериментальные исследования лавообразных топливосодержащих масс (ТСМ) на 4-м блоке ЧАЭС. Москва, 1992, 120 с. (Препринт ИЭА- 5533/3).
- [13] Киселев А.Н., Чечеров К.П. Лавообразные топливосодержащие массы на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС. Доклад на Международном симпозиуме "Безопасность Укрытия - 94", 14-18 марта, 1994.
- [14] Киселев А.Н., Сурин А.И., Чечеров К.П. Результаты дополнительных исследований мест скопления лавообразных топливосодержащих масс на 4-м блоке ЧАЭС. Москва, 1994, 59 с. (Препринт ИЭА-5783/3).
- [15] Киселев А.Н. Сколько же ядерного топлива находится в лавообразной топливосодержащей массе 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС?// Атом.энерг.- 1995.-Т.78,вып.4.-С.256-259.
- [16] Юхновський І.Р., Токарчук М.В. Проблеми 4-го енергоблоку Чернобыльської АЕС. І. Огляд. Львів, 1995, 40с. (Препринт ІФКС-95-3У)
- [17] Отчет о научно-исследовательской работе "Обоснование ядерной безопасности объекта "Укрытие" на основе исследования динамики аварийных процессов". Инв. No 1515, Минск, 1991.
- [18] Расчетно-экспериментальные исследования характеристик нейтронных полей в местах скопления лавообразных топливосодержащих масс в помещениях 305/2 и 304/2 объекта "Укрытие". Отчет. Минск, 1994, 77 с.
- [19] Андерсон Е.Б., Бураков Б.Е., Пазухин Э.М. Вторичные изменения топливосодержащих масс (ТСМ) 4-го блока Чернобыльской АЭС. // Радиохимия, 1992, No 5, с. 135-138.
- [20] 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" І. Процеси радіолізу в системі "ядерна магма-вода". Препринт ICMP-96-05U, Львів, 1996, 16с.
- [21] Разработка методики и оценка вклада ( $\alpha, n$ )-реакций в интенсивность нейтронов, генерируемых в ЛТСМ в помещении 304/3 объекта "Укрытие". Техническая справка. Минск, 1995, (НПЦ "Камертон").
- [22] Оценка вклада ( $\alpha, n$ ) реакций в интенсивность нейтронов, генерируемых в ЛТСМ в помещениях 305/2 объекта "Укрытие". Техническая справка. Минск, 1995, (НПЦ "Камертон"), с. 1-6.
- [23] 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" ІІ. Статистичний опис процесів переносу в ядерній магмі. Препринт ICMP-96-07U, Львів, 1996, 8с.
- [24] Звіт відділу теоретичних проблем фізико-хімічних процесів в радіоактивнісних середовищах. ВРТМ МНТЦ "Укриття" за 1995 рік.-Чернобыль, 1995.-33с.

- 
- [25] 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" П. Опис процесів дифузії в системі "ядерна магма – вода". Препринт ІСМР-96-06U, Львів, 1996, 19с.
- [26] Акт об определении радионуклидного состава проб воды из помещенный объекта "Укрытие" 23.02.1995. Чернобыль, 1995, 2 с.
- [27] Отчет Института Атомной энергии им. И.В.Курчатова РАН. инв.N 11.07/118 от12.03.1991.- Чернобыль, 1991.-21с.
- [28] Годовой отчет отдела разработки методик и систем анализа отделения радиационных технологий и материаловедения. МНТЦ НАНУ "Укрытие", 1994, 44 с.
- [29] Результаты обследования скоплений воды в помещениях объекта "Укрытие". Предложения конгрмер. Отчет. Чернобыль, 1993, 16 с.
-

Препринти Інституту фізики конденсованих систем НАН України розповсюджуються серед наукових та інформаційних установ. Вони також доступні по електронній комп'ютерній мережі на WWW-сервері інституту за адресою <http://www.icmp.lviv.ua/>

The preprints of the Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine are distributed to scientific and informational institutions. They also are available by computer network from Institute's WWW server (<http://www.icmp.lviv.ua/>)

Ігор Рафаїлович Юхновський  
Олександр Євгенійович Кобрин  
Володимир Васильович Токаревський  
Михайло Васильович Токарчук

ПРОБЛЕМИ 4-ГО ЕНЕРГОБЛОКУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС II.  
СУЧАСНИЙ СТАН ЯДЕРНОЇ МАГМИ В ОБ'ЄКТІ “УКРИТТЯ”

Роботу отримано 11 жовтня 1996р.

Затверджено до друку Вченою радою ІФКС НАН України

Рекомендовано до друку семінаром відділом теорії нерівноважних процесів

Виготовлено при ІФКС НАН України

© Усі права застережені