



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 122401

(13) C2

(51) МПК

G21C 9/016 (2006.01)

G21C 13/10 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2017 07423	(72) Винахідник(и):	Недорезов Андрій Борисовіч (RU), Сідоров Александр Стальєвіч (RU)
(22) Дата подання заявки:	16.11.2015	(73) Володілець (володільці):	АКЦІОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ", ул. Бакунинская, 7, стр. 1, г. Москва, 105005, Российская Федерация (RU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	11.11.2020	(74) Представник:	Дроб'язко Руслан Володимирович, реєстр. №122
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Парижської конвенції:	2014150936	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	RU 100326 U1, 10.12.2010 GB 2236210 A, 27.03.1991 RU 2063071 C1, 27.06.1996 US 4280872 A1, 28.07.1981 US 5307390 A, 26.04.1994 UA 10417 C2, 25.12.1996 UA 1375 U, 15.08.2002 UA 74753 U, 12.11.2012
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Парижської конвенції:	16.12.2014		
(33) Код держави-учасниці Парижської конвенції, до якої подано попередню заявку:	RU		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.01.2018, Бюл.№ 2		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	10.11.2020, Бюл.№ 21		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/RU2015/000782, 16.11.2015		

(54) СИСТЕМА ЛОКАЛІЗАЦІЇ Й ОХОЛОДЖЕННЯ РОЗПЛАВУ АКТИВНОЇ ЗОНИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі атомної енергетики, зокрема до систем, які забезпечують безпеку атомних електростанцій (АЕС), і може бути використаний при важких аваріях, що призводять до руйнування корпусу реактора і герметичної оболонки АЕС. Система локалізації та охолодження розплаву містить направляючу плиту у формі лійки, встановлену під днищем корпусу реактора, ферму-консоль, встановлену під направляючою плитою таким чином, що плита спирається на ферму-консоль, пастку розплаву, встановлену під фермою-консоллю і забезпечену охолоджувальною оболонкою в вигляді багатшарової посудини для захисту зовнішньої теплообмінної стінки від динамічного, термічного і хімічного впливів, і наповнювач для розведення розплаву, розміщений в згаданій багатшаровій посудині. При цьому зазначена багатшарова посудина має металеві зовнішню і внутрішні стінки і розміщений між ними заповнювач з низькотеплопровідного, відносно матеріалів стінок, матеріалу. Товщина заповнювача $h_{\text{зап.}}$ задовольняє умову: $0,8h_{\text{нар.}} < h_{\text{зап.}} < 1,6h_{\text{нар.}}$, де $h_{\text{нар.}}$ - товщина зовнішньої стінки посудини. Технічний результат - підвищення ефективності відведення тепла від розплаву і підвищення надійності конструкції.

UA 122401 C2

Винахід відноситься до області атомної енергетики, зокрема до систем, що забезпечують безпеку атомних електростанцій (АЕС), і може бути використаний при важких аваріях, що приводять до руйнування корпусу реактора і його герметичної оболонки.

Найбільшу радіаційну небезпеку представляють аварії з розплавленням активної зони, які можуть відбуватися при множинній відмові систем охолодження активної зони.

При таких аваріях розплав активної зони - коріум, розплавляючи внутрішньореакторні конструкції й корпус реактора, витікає за його межі й внаслідок залишкового тепловиділення, що зберігається в ньому, може порушити цілісність герметичної оболонки АЕС - останнього бар'єра на шляху виходу радіоактивних продуктів у навколишнє середовище.

Для виключення цього необхідно локалізувати витіклий коріум і забезпечити його безперервне охолодження аж до повної кристалізації. Цю функцію виконує система локалізації й охолодження розплаву активної зони реактора (коріуму), яка запобігає ушкодженням герметичної оболонки АЕС і тим самим захищає населення й навколишнє середовище від радіаційного впливу при важких аваріях ядерних реакторів.

З рівня техніки відомий пристрій локалізації й охолодження коріуму ядерного реактора, розташований в підреакторному просторі бетонної шахти, що включає охолоджуваний водою корпус, брикети матеріалу-розріджувача урановмісного оксидного коріуму, зв'язані цементним розчином і розміщені в сталевих блоках у кілька горизонтальних шарів, днище нижнього блоку ідентично за формою днищу корпусу, розташовані над ним блоки мають центральний отвір, а вузли кріплення блоків до корпусу й між собою розміщені у вертикальних прорізах блоків (див. патент РФ № 2514419, 27.04.2014).

Зазначений аналог має ряд недоліків:

- днище нижнього блоку, ідентичне за формою днищу корпусу, не має центрального отвору, а розташовані над ним блоки такі отвори мають, тому відбувається "запирання" брикетів матеріалу-розріджувача в нижньому блоці при вступі першої порції розплаву активної зони, що складається, в основному, з рідкої сталі й цирконію. З урахуванням кута нахилу днища від 10 до 20 градусів маса "замкнених" брикетів матеріалу-розріджувача становить від 25 до 35 % від загальної маси брикетів, розташованих у корпусі. Наступне надходження другої порції розплаву активної зони, що складається, в основному, з оксидів урану й цирконію, через один-три години після першої порції не зможе створити умови для термохімічної взаємодії із брикетами в нижньому блоці, тому що сталь, що надійшла раніше, або застигне в нижньому блоці (і тоді взаємодія брикетів з оксидами урану й цирконію буде заблоковано), або та, що надійшла раніше перегріта сталь зруйнує сталевий каркас нижнього блоку з усіма кріпленнями (і тоді брикети, що перебувають у ньому, спливають, утворюючи жужільну шапку над коріумом);

- формула, що визначає масу матеріалу-розріджувача урановмісного оксидного коріуму, невірно визначає нижню границю необхідної маси матеріалу-розріджувача, що пов'язане з неправильним обліком співвідношення товщини шарів оксидів і металів, що надходять із ядерного реактора. Нижня границя по цій формулі винна бути збільшена на 35 % при блокуванні брикетів у нижньому блоці й винна бути збільшена ще на 15 % при блокуванні брикетів рідкою сталлю у верхніх блоках до початку інверсії оксидних і металевих шарів. Таким чином, нижня границя для розрахунків маси матеріалу-розріджувача повинна бути помножена на коефіцієнт, рівний 1,5.

- максимальна маса залишкової води в масових відсотках у цементному сполучнику брикетів матеріалу-розріджувача – не вище 8 %, що представляється помилковим. Як показали результати експериментальних досліджень (див. "Дослідження умов, що забезпечують зчеплення жертвовної кераміки ПОЖА із кладочним розчином ЦКС". Технічна довідка. МОН РФ ГОУ ВПО Санкт-Петербурзький технологічний інститут (технічний університет), 2013 [1]) для ефективного зчеплення брикетів, що забезпечують їхню проектну працездатність, масова частка хімічно зв'язаної води винна становити 10 %, а якщо ні, то монолітність кладки брикетів буде порушена, а працездатність брикетів не гарантована. Теза про зменшення частки води в цементному сполучнику для зменшення виходу водню помилкова, що пов'язане з некоректним обліком взаємодії пари з пористою структурою кладки брикетів.

З рівня техніки також відома будова стінки корпусу теплообмінника, призначеного для побудови локалізації й охолодження розплаву, що включає внутрішню й зовнішню стінку й розміщений між ними заповнювач із гранульованого керамічного матеріалу, хімічно подібного жертвовного матеріалу, товщиною не менш 100 мм (див. Патент РФ на корисну модель №100326, 10.12.2010).

Недоліки даної конструкції сосуду полягають у наступному:

- гранульований керамічний матеріал не забезпечує ефективного захисту зовнішньої стінки корпусу теплообмінника від термоударів з боку високотемпературного розплаву у зв'язку з тим,

що цей матеріал є ефективним тепловим ізолятором з теплопровідністю, у середньому, менше 0,5 Вт/(м К), і до закінчення свого плавлення тепло зовнішній стінці корпусу практично не передає, що підвищує ризик руйнування теплообмінника при конвекційному вимиванні гранульованого матеріалу розплавом;

5 - гранульований керамічний матеріал не забезпечує надійний хімічний захист зовнішньої стінки корпусу теплообмінника у зв'язку з тим, що при руйнуванні внутрішньої стінки корпусу теплообмінника цей матеріал може висипатися з вертикального міжстіночного простору з витратою, обумовленою площею руйнування, цей процес спустошує міжстеночний простір, позбавляючи зовнішню стінку корпусу необхідного хімічного й теплового захисту, що підвищує

10 ризик руйнування теплообмінника;

- більша товщина проміжку, не менш 100 мм, між зовнішньої й внутрішньої стінками теплообмінника при плавленні гранульованого керамічного матеріалу, що полягає з оксидів заліза й алюмінію, приводить до значного перерозподілу теплових потоків – основний тепловий потік іде не через зовнішню стінку корпусу теплообмінника, а через незахищену вільну

15 поверхню дзеркала розплаву, збільшуючи середню температуру розплаву в теплообміннику, наслідком чого є наступні процеси: підвищене утворення аерозолів, високий вихід неконденсованих газів, підвищене теплове випромінювання, додаткове нагрівання й обвалення розташованого вище встаткування, - і, як наслідок цього, переливши розплаву за охолоджувани

20 границі, що веде до руйнування теплообмінника.

Тому використання гранульованих керамічних засипань без міцного теплопровідного зв'язку із зовнішньою стінкою теплообмінника неефективно.

Завданням винаходу є усунення недоліків аналогів.

Технічний результат винаходу полягає в підвищенні ефективності відводу тепла від розплаву й підвищенні надійності конструкції.

25 Зазначений технічний результат досягається за рахунок того, що система локалізації й охолодження розплаву активної зони ядерного реактора водоводяного типу містить направляючу плиту у формі вирви, установлену під днищем корпусу реактора, ферму-консоль, установлену під направляючою плитою таким чином, що плита опирається на ферму-консоль, пастку розплаву, установлену під фермою-консоллю й оснащену охолоджуваною оболонкою у

30 вигляді багат шарового сосуда для захисту зовнішньої теплообмінної стінки від динамічного, термічного й хімічного впливів і наповнювач для розведення розплаву, розміщений у згаданому багат шаровому посуді причому посуд містить металеві внутрішній і зовнішній шари і розміщений між ними наповнювач з низькотеплопровідного, по відношенню до матеріалів

35 стінок, матеріалу, при цьому товщина заповнювач $h_{\text{зап}}$ задовольняє умові: $0,8h_{\text{нар}} < h_{\text{зап}} < 1,6h_{\text{нар}}$, де $h_{\text{нар}}$ - товщина зовнішньої стінки сосуда.

Крім того, зазначений технічний результат досягається в окремих варіантах реалізації винаходу за рахунок того, що:

- зовнішня і внутрішня стінки зроблені зі сталі,

- в системі використаний заповнювач з температурою плавлення 800-1400° С,

40 - як заповнювач використаний шар бетону або керамічної засипки з міцної теплопровідної зв'язком з зовнішньою стінкою,

- між зовнішньою і внутрішньою стінками розміщені силові ребра, товщина яких ($h_{\text{реб}}$) задовольняє умові: $0,5h_{\text{нар}} < h_{\text{реб}} < h_{\text{нар}}$.

45 - силові ребра проходять через внутрішню стінку у внутрішній об'єм сосуда, утворюючи захисний каркас,

- посуд має у верхній частині фланець, зовнішній і внутрішній діаметр якого збігаються з зовнішнім і внутрішнім діаметрами, відповідно, зовнішньої і внутрішньої стінок сосуда.

- система додатково містить штучний гарнісажний шар, розміщений між зовнішньою стінкою і заповнювачем сосуда, при цьому гарнісажний шар виконаний на основі, щонайменше, одного з

50 оксидів, вибраних з: оксиду цирконію, оксиду алюмінію, оксиду заліза, при вмісті основи в шарі не менше 20 мас. %.

На відміну від аналогів в даній системі використовують пастку розплаву, що має тришарову оболонку із зовнішньої і внутрішньої металевими стінками і низькотеплопровідного заповнювачем, товщина якого має задовольняти умові:

55 $0,8h_{\text{нар}} < h_{\text{зап}} < 1,6h_{\text{нар}}$,

Зазначене співвідношення параметрів забезпечує ефективне відведення тепла від розплаву без порушень цілісності зовнішньої стінки, що пояснюється наступним.

З одного боку товщина низькотеплопровідного заповнювача не повинна бути менше $0,8 h_{\text{нар}}$ в зв'язку з тим, що в цьому випадку при термічному ударі заповнювач перестане виконувати свої функції і не буде забезпечувати гарантоване збереження цілісності зовнішньої теплообмінної стінки,

З іншого боку товщина низькотеплопровідного заповнювач не повинна бути більше $1,6 h_{\text{нар}}$, оскільки в цьому випадку може виникнути повне блокування теплообміну через зовнішню теплообмінну стінку більше, ніж на 1 годину, що з теплофізичних міркувань неприйнятно (збільшиться температура розплаву, температура випромінювання, посилиться аерозолеутворення і т.д.).

Винахід пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 (а, б) схематично показана конструкція системи локалізації, а на фіг. 2 конструкція багат шарового сосу́ду пастки.

1 корпус реактора;

2 днище корпусу реактора;

3 бетонна шахта (шахта реактора);

4 напрямна плита;

5 ферма-консоль;

6 - тепловий захист ферми-консо́лі;

7 майданчик обслуговування;

8 пастка розплаву;

9 тепловий захист фланця багат шарового сосу́ду (корпусу);

10 наповнювач;

11 - зовнішній шар багат шарового сосу́ду (корпусу);

12 - заповнювач багат шарового сосу́ду (корпусу);

13 - внутрішній шар багат шарового сосу́ду (корпусу);

14 - ступінчастий, конічний або циліндричний прямо́к для розміщення корі́уму;

15 - гарніса́жний шар.

Згідно заявленому винаходу під днищем (2) корпусу реактора (1), розміщеного в бетонній шахті (3), встановлена напрямна плита (4), що має форму воронки, яка спирається на ферму-консоль (5), забезпечену теплової захистом (6). Під фермою-консо́лю (5), встановлена пастка розплаву (8), що має охолоджувану оболонку (корпус) в вигляді багат шарового сосу́ду що включає металеві зовнішній (11) і внутрішній (13) шари (сті́нки), між якими розміщений шар заповнювача (12) з низькотеплопровідного матеріалу.

Усередині корпусу пастки (8) розміщується жертвний наповнювач (10) для розведення розплаву. При цьому в наповнювачі (11) виконується прямо́к (14) для розміщення корі́уму, що має ступінчасту, конічну або циліндричну форму.

Крім того, в корпусі пастки (8) передбачена тепловий захист (9) фланця багат шарового сосу́ду.

У просторі між фермою-консо́лю (5) і пасткою (8) розміщена площадка обслуговування (7)

Напрямна плита (4) призначена для направлення корі́уму (розплаву) після руйнування або проплавлення корпусу реактора в пастку (8). Крім того, направляюча плита (4) утримує великогабаритні уламки внутрішньокорпусних пристроїв, що тепловипромінюючих складань і днища корпусу реактора від падіння в пастку й забезпечує захист ферми-консо́лі (5) і її комунікацій від руйнування при вступі розплаву з корпусу реактора (1) у пастку (8). Напрямна плита (4) також охороняє бетонну шахту (3) від прямого контакту з розплавом активної зони. Напрямна плита (4) розділена силовими ребрами на сектори, по яких забезпечується стікання розплаву. Силкові ребра втримують днище корпусу реактора (2) з розплавом, що не дозволяє днищу в процесі свого руйнування або сильного пластичного деформування перекрити прохідні перетини секторів напрямної плити (4) і порушити процес стікання розплаву. Під поверхнею вирви напрямної плити розташовано два шари бетону: безпосередньо під поверхнею перебуває шар жертвового бетону (на основі оксидів алюмінію й заліза), а під жертвним бетоном – шар термостійкого жаростійкого бетону (на основі оксиду алюмінію). Жертвний бетон, розчиняючись у розплаві активної зони, забезпечує збільшення прохідного перетину в секторах напрямної плити при утворі блоkad (при застиганні розплаву в одному або декількох секторах), що дозволяє не допустити перегріву й руйнування силових ребер, тобто повного блокування прохідного перетину й, як наслідок цього - руйнування напрямної плити. Термостійкий жаростійкий бетон забезпечує міцність конструкції при зменшенні товщини жертвового бетону. Цей бетон захищає нижче встаткування від впливу розплаву, не дозволяючи розплаву проплавити або зруйнувати напрямну плиту (4).

Ферма-Консоль (5) захищає не тільки пастку (8), але й внутрішні комунікації всієї системи локалізації й охолодження розплаву активної зони від руйнування з боку корі́уму і є опорою для

напрямної плити (4), яка передає статичні й динамічні впливи на ферму-консоль (5), розкріплену в шахті реактора (3). Ферма-Консоль (5) також забезпечує працездатність напрямної плити (4) у випадку її секторного руйнування при ослабленні несучої здатності силових ребер.

Ферма-Консоль (5) містить:

- 5 - труби-чохла, що забезпечують підключення датчиків контрольно-вимірювальних приладів (КІП);
- канали зрошення коріуму (колектор із трубопроводами, що роздають), що забезпечують підключення подачі охолодної води від зовнішніх джерел вода, що прохолоджує, по каналах зрошення надходить через ферму-консоль зверху на коріум;
- 10 - канали для відводу пари, що забезпечують відвід пари з підреакторного приміщення бетонної шахти (3) у гермозону на стадії охолодження коріуму в пастці (8); канали забезпечують відвід насиченого пари без перевищення припустимого тиску в бетонній шахті (3);
- канали для підведення повітря, що забезпечують вступ повітря на охолодження напрямної плити (4) при нормальній експлуатації.

15 Пастка (8) забезпечує втримання й охолодження розплавленої активної зони в підреакторному приміщенні бетонної шахти (3) при проплавленні або руйнуванні корпуса реактора (1) за рахунок розвиненої теплообмінної поверхні й передачі тепла до води в режимі кипіння у великому обсязі. Пастка (8) установлюється в підставі бетонної шахти (3) на закладні деталі.

20 При цьому оболонка пастки (8) згідно із заявленим винаходом являє собою багат шаровий посуд, що має:

- металевий зовнішній шар (11) – зовнішній корпус, утворений стінкою й днищем,
- шар неметалевого заповнювача (12),,
- металевий внутрішній шар (13) – внутрішній корпус, утворений стінкою й днищем.

25 Внутрішній шар (13) може бути виконаний зі сталі, наприклад, марок 22К, 20К, 25Л, 20Л, 09Г2С, сталь 20 і мати товщину 5-50 мм у стінок і 20-60 мм у днища.

Шар заповнювач (12) виконаний з матеріалу з температурою плавлення 800-1400° С, при цьому максимальна температура плавлення відповідає температурі плавлення сталі, з якої виконаний внутрішній шар (13). Як матеріал заповнювач може бути використаний бетон або керамічна крихта (засипка), що має теплопровідних зв'язок із зовнішнім шаром багат шарового посуду (11) пастки (8), що містять оксид заліза в якості основного компонента. Для забезпечення теплопровідної зв'язку керамічна крихта складається не менше, ніж з двох компонентів: тугоплавкого і легкоплавкого. Легкоплавкий компонент забезпечує теплопровідну зв'язок із зовнішнім шаром багат шарового с посуду (11).

35 Товщина заповнювач (12) $h_{\text{зап}}$ повинна задовольняє умові: $0,8h_{\text{нар}} < h_{\text{зап}} < 1,6h_{\text{нар}}$, де $h_{\text{нар}}$ - товщина зовнішньої стінки посуду. Причому, менше значення приймається для литих наповнювачів з пористістю 5-10 %, а більше - для насипних з пористістю до 40 %:

Зокрема, шар заповнювача може мати товщину $h_{\text{зап}} = 10-100$ мм.

40 Багат шаровий посуд пастки (8) має у верхній частині фланець, зовнішній і внутрішній діаметр якого збігаються з зовнішнім і внутрішнім діаметрами, відповідно, зовнішньої і внутрішньої стінок посуду.

Зовнішній шар багат шарового посуду(11) пастки (8) може додатково містити гарнісажний шар (15), розташований між шаром заповнювача (12) і зовнішнім шаром (11) пастки (8) (див. Фіг. 3). Гарнісажний шар (15) може бути як попередньо сформованим, так і утворюється в процесі охолодження розплаву. Залежно від умов теплообміну і термохімічних умов товщина шару змінюється в діапазоні від 0,1 до 5 мм на початковій стадії охолодження розплаву, потім, у міру охолодження розплаву, товщина гарнісажної кірки може значно збільшуватися. Гарнісажний шар виконаний на основі щонайменше одного з оксидів, вибраних з: оксиду цирконію, оксиду алюмінію, оксиду заліза, при утриманні основи в шарі не менше 20 мас. %.

50 Крім того, в багат шаровому посуді пастки (8) можуть бути додатково виконані силові ребра жорсткості розміщені між зовнішньою і внутрішньою стінками.

Товщина ребер жорсткості $h_{\text{реб}}$ повинна задовольняти умові: $0,5h_{\text{нар}} < h_{\text{реб}} < h_{\text{нар}}$ причому, менше значення приймається для товщини внутрішньої стінки менше $0,5 h_{\text{нар}}$, а більше - в інших випадках:

55 - нижнє значення не може бути менше $0,5 h_{\text{нар}}$ в зв'язку з термомеханічної нестійкістю ребер (відбувається сильна деформація конструкції при динамічному впливі, навіть при наявності заповнювач);

60 - верхнє значення не може бути більше $h_{\text{нар}}$ в зв'язку з порушенням тепловідведення від зовнішнього шару багат шарового посуду (11) - відбувається перегрів і проплавлення теплообмінної поверхні.

Силові ребра можуть проходити через внутрішній шар багат шарового сосу́ду (13) у внутрішній обсяг пастки (8), утворюючи захисний каркас.

Приклад конструкції багат шарового сосу́ду:

- діаметр - 6 м;

- 5 - зовнішній шар - стінка зі сталі 22К товщиною 60 мм, днище зі сталі 25К товщиною 90 мм;
- внутрішній шар - стінка зі сталі 22К товщиною 20 мм, днище зі сталі 22К товщиною 30 мм;
- шар заповнювача - керамічна крихта на основі оксиду заліза товщиною 60 мм;
- гарнісажний шар - суміш оксидів заліза, алюмінію і цирконію товщиною 0,5 мм;
- ребра жорсткості - сталь 22К товщиною 40 мм.

- 10 Наповнювач (10) забезпечує об'ємне розосередження розплаву коріуму в межах пастки (8). Призначений для доокислення коріуму і його розведення з метою зменшення об'ємного енерговиділення і збільшення поверхні теплообміну енерговиділяючого коріуму з зовнішнім шаром багат шарового сосу́ду(11), а також сприяє створенню умов для спливання паливовмісних фракцій коріуму над шаром стали. Наповнювач може бути виконаний із сталевих і оксидних компонентів, що містять оксиди заліза, алюмінію, цирконію, з каналами для перерозподілу коріуму не тільки в циліндричній частини, а й в донному конічному обсязі.

Майданчик обслуговування (7) забезпечує тепловий захист верхньої частини пастки (8) і дозволяє проводити зовнішній огляд корпусу реактора (1) при планових профілактичних роботах, забезпечуючи можливість доступу:

- 20 - до наповнювача для ревізії і видалення води у разі аварійних протікань;
- до вузлів герметизації, що забезпечує захист наповнювача від аварійних протікань;
- до кінцевих труб-чохлів датчиків КВП для забезпечення ремонтних робіт або заміни датчиків.

Заявлена система функціонує наступним чином.

- 25 У момент руйнування корпусу (1) реактора розплав активної зони під дією гідростатичного і надлишкового тисків починає надходити на поверхню направляючої плити (4) утримуваної фермою-консоллю (5).

Розплав, стікаючи по секторам направляючої плити (4) потрапляє в багат шаровий сосу́д пастки розплаву (8) і належить учасник з наповнювачем (10).

- 30 При секторному неосесиметричному стіканні розплаву відбувається Підплавлення теплових захистів (6) ферми-консолі (5) і майданчики обслуговування (7). Руйнуючись, ці теплові захисти, з одного боку, знижують теплову дію розплаву активної зони на устаткування, що захищається, а з іншого - зменшують температуру і хімічну активність самого розплаву.

- 35 Розплав послідовно заповнює спочатку приямок (14), а потім, у міру розплавлення сталевих елементів конструкції наповнювача (10), заповнює порожнечі між неметалевими елементами наповнювача (10). Неметалеві елементи наповнювача скріплені між собою спеціальним цементом, що забезпечує спікання цих неметалічних елементів між собою в структуру, яка виключає спливання елементів наповнювача в більш важкому розплаві активної зони. Спікання неметалевих елементів між собою забезпечує достатню міцність кладки в період втрати міцності з боку сталевих кріпильних елементів наповнювача. Таким чином, зменшення міцності сталевих елементів наповнювача при підвищенні температури компенсується підвищенням міцності кладки неметалічних елементів наповнювача в процесі спікання. Після розплавлення і розчинення сталевих елементів наповнювача в розплаві активної зони починається поверхневе взаємодія неметалічних елементів наповнювача з компонентами розплаву активної зони.
- 45 Конструкція, фізичні і хімічні властивості наповнювача підібрані таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність розчинення наповнювача в розплаві активної зони, не допустити підвищення температури розплаву, зменшити процеси аерозолеутворення і променистий теплообмін з дзеркала розплаву, знизити утворення водню і інших неконденсованих газів. Один з компонентів наповнювача - оксид заліза, який має різні ступені окислення, в процесі взаємодії з розплавом активної зони окислює цирконій, доокислює діоксиди урану і плутонію, ніж перешкоджає утворенню їх металевих фаз, забезпечує доокислення інших компонентів розплаву, що дозволяє виключити радіоліз водяної пари і блокувати сорбцію кисню з атмосфери над дзеркалом розплаву. Це, в свою чергу, призводить до істотного зниження виходу водню. Оксид заліза в цьому процесі віддає кисень і може відновитися до металевого заліза включно.

- 50 Процес надходження розплаву активної зони в наповнювач (10) відбувається в два етапи: на першому етапі з корпусу (1) реактора в наповнювач (10) надходять, в основному, рідкі сталь і цирконій з домішкою оксидів, а на другому - основним компонентом надходить розплаву є тугоплавкі рідкі оксиди з домішкою металів. Звідси два різних типи взаємодії розплаву активної зони з наповнювачем: перший - металеві компоненти розплаву активної зони взаємодіють з
- 55
- 60

елементами наповнювача, розплавляючи їх, а рідкий металевий цирконій з розплаву активної зони окислюється в процесі прикордонної взаємодії з неметалевими елементами наповнювача, які, розплавляючись, спливають вгору, утворюючи над шаром розплавлених металів шар легких оксидів алюмінію заліза і цирконію, і другий - оксидні компоненти розплаву активної зони

5 взаємодіє затишок і з металевими конструкціями і з неметалевими елементами наповнювача, розплавляючи і розчиняючи їх, а цирконій, хром і деякі інші рідкі метали, що входять до складу оксидної фракції розплаву активної зони, окислюються при взаємодії з неметалевими елементами наповнювача. В результаті такого складного багатоступінчастого взаємодії відбувається доокислення оксидної фракції розплаву і окислення найбільш активних інгредієнтів

10 з металеві фракції розплаву, з'являється коріум з наперед заданими властивостями, які дозволяють забезпечити його локалізацію в обмеженому обсязі і безпечно ефективне тривале охолодження.

В результаті взаємодії розплаву активної зони з наповнювачем температура отриманого коріуму знижується, приблизно, в півтора - два рази, що дозволяє істотно знизити променистий тепловий потік з боку дзеркала розплаву до розташованих вище фермі-консолі, що направляє плиті і днища корпусу реактора. Для більш ефективного зменшення променистих теплових потоків з боку дзеркала розплаву і зменшення аерозолеутворення використовується як природна, так і штучна жужільна шапка, яка утворюється як при плавленні спеціальних бетонів

15 під дією теплового випромінювання з боку дзеркала розплаву, так і в процесі взаємодії рідкого розплаву коріуму з наповнювачем. Товщина і час існування жужільної шапки обрані таким чином, щоб мінімізувати вплив з боку дзеркала розплаву на вище розташованого обладнання в найбільш несприятливий початковий період локалізації розплаву - в період його надходження в наповнювач і накопичення в корпусі УЛР. Період надходження розплаву активної зони в УЛР може досягати декількох годин, причому, надходження оксидної фази є істотно нерівномірним і

20 може супроводжуватися значною зміною або тимчасовим припиненням витрати.

Хімічні реакції наповнювача з розплавом активної зони поступово змінюють склад і структуру коріуму. На початковій стадії розплав активної зони може перейти з гомогенної структури в двохшарову: вгорі, в основному, суміш рідкої сталі і цирконію, внизу - розплав тугоплавких оксидів з домішкою металів; щільність розплаву тугоплавких оксидів, в середньому,

25 на 25 % більша за густину суміші рідких металів. Поступово, у міру розчинення наповнювача в рідких оксидах активної зони, склад коріуму, особливо його оксидна частина, змінюється: щільність рідких оксидів зменшується сильніше, ніж змінюється щільність рідких металів. Цей процес призводить до постійного зменшення різниці щільності між рідкими металеві і оксидної фракціями коріуму. Вихідна маса неметалічних жертвних матеріалів наповнювача обрана таким чином, щоб забезпечити гарантоване розчинення в рідких тугоплавких оксидах активної зони такої кількості неметалевих жертвних матеріалів, щоб результуюча щільність нового оксидного розплаву була менше, ніж щільність рідкометалевих фракції коріуму. У той момент, коли щільність рідких оксидів стає менше щільності рідких металів, у ванні розплаву коріуму відбувається інверсія: рідкі оксиди спливають вгору, а рідкометалева фракція коріуму

30 опускається вниз. Нова структура коріуму дозволяє здійснювати безпечно охолодження дзеркала розплаву водою. При надходженні на поверхню рідких оксидів охолоджуюча вода не створює загрози виникнення парових вибухів, що пов'язано з теплофізичними особливостями рідких оксидів, і не вступає з ними в хімічні реакції з утворенням водню, не відчуває термічного розкладання, внаслідок щодо низької температури дзеркала розплаву. Інверсія рідких оксидів і металів дозволяє забезпечити більш рівномірний тепловий потік через корпус УЛР до кінцевого поглинача - воді, що обумовлено різними теплофізичними властивостями рідких оксидів і рідких металів.

35

Теплопередача від коріуму до пастки (8) відбувається в три стадії. На першій стадії під час вступу, в основному, рідких металів в пряминок (14) наповнювача (10) теплообмін між шарами багатшарового сосу (11-13) пастки (8) і розплавом не відрізняється особливою інтенсивністю: закумуляоване розплавом тепло витрачається, в основному, на розігрів і часткове плавлення конструкційних елементів наповнювача. Прогрів нижньої частини пастки (8) носить рівномірний характер і не має яскраво виражених особливостей. З огляду на, що

40 конічний днище пастки (8) має товщину, в середньому, на 30 % більшу, ніж її циліндрична частина, і вертикальний конвективний теплообмін зверху вниз має значно меншу ефективність, ніж радіальний конвективний теплообмін, або вертикальний конвективний теплообмін від низу до верху, - процес розігріву днища пастки (8) йде значно повільніше, ніж наступний розігрів її циліндричної частини.

45

На другій стадії при надходженні, в основному, рідких тугоплавких оксидів рівень розплаву коріуму істотно підвищується (з урахуванням розчинення жертвних матеріалів наповнювача).

60

Оксидна складова коріуму є енерговиділяючий. Розподіл енерговиділення між оксидною і металевою складовими коріуму співвідноситься, приблизно, як 9 до 1, що призводить до значних теплових потоків з боку оксидною складової коріуму. Так як щільність оксидної складової коріуму на початковому етапі взаємодії з наповнювачем істотно більша за густину металевого розплаву, то можлива стратифікація і перерозподіл компонентів коріуму: вгорі - рідкі метали, внизу - тугоплавкі оксиди. У цьому стані значного прогріву днища пастки (8) з боку тугоплавких оксидів не відбувається в зв'язку з тим, що конвективний теплообмін йде в напрямку зверху вниз, а теплопровідність оксидної кірки на кордоні "стінка корпусу-оксиди" незначна і, в середньому, не перевищує 1 Вт / (м К) . Оксидна кірка, що складається з розплаву тугоплавких оксидів (гарнісажу), утворюється в результаті охолодження розплаву оксидів на кордоні "оксиди-метал", в результаті того, що метал має на порядок вищу теплопровідність, ніж оксиди і може забезпечити більш високу теплопередачу до кінцевого поглинача тепла - воді. Цей ефект використовується для надійної локалізації розплаву, дозволяючи запобігти хімічну взаємодію компонентів коріуму з зовнішнім шаром багат шарового сосу́ду (11), що охолоджується водою, і забезпечити його термічний захист. Рідкі метали, перебуваючи над рідкими оксидами, отримують енергію, в основному, за рахунок конвективного теплообміну з рідкими оксидами, напрямок конвективного теплопередачі від низу до верху. Цей фактор може привести до перегріву жідкометаліческім фракції коріуму і істотно нерівномірного розподілу теплових потоків через шари багат шарового сосу́ду(11-13) пастки (8) до кінцевого поглинача тепла, і, крім того, збільшити щільність теплового потоку випромінюванням з дзеркала розплаву. У зоні взаємодії шарів багат шарового сосу́ду (11-13) пастки (8) з рідкометалевим фракцією коріуму гарнісажу не утворюється і не виникає природного бар'єру від перегріву багат шарового сосу́ду. Вирішення цього завдання забезпечується конструктивними заходами.

На третій стадії коріум, взаємодіючи з наповнювачем (10), виходить на внутрішній шар багат шарового сосу́ду (13). До цього моменту зовнішній шар багат шарового сосу́ду (11) з боку шахти реактора (3) залитий водою. Пастка розплаву (8) встановлена в шахті реактора (3) і повідомляється з прямком, в який при проектних іпозапроектних аваріях надходить теплоносії першого контуру реакторної установки, а також вода, що надходить в перший контур з систем безпеки. Для запобігання руйнуванню теплопередатчикам зовнішнього шару багат шарового сосу́ду (11) високотемпературним розплавом коріуму, пастка розплаву (8) виконана у вигляді багат шарового сосу́ду, описаного вище конструкції. В цьому випадку є можливість перерозподілити термічні і механічні навантаження між шарами (11-13) багат шарового сосу́ду: основні термічні навантаження сприймає внутрішній шар (13), а основні механічні навантаження (ударні і тиску) сприймає зовнішній шар (11). Передача механічних навантажень від внутрішнього шару (13) до зовнішнього шару (11) забезпечується ребрами, встановленими на внутрішній поверхні зовнішнього шару (11), до яких приварюється внутрішній шар (13). При такому конструктивному виконанні внутрішній шар (13) через ребра передає зусилля від термічних деформацій на зовнішній охолоджуваний шар (11). Для мінімізації термічних напружень з боку внутрішнього шару (13) з'єднання між ребрами і зовнішнім шаром (11) виконано особливим чином, з використанням термічного демпфірування.

Заповнювач багат шарового сосу́ду (12) з низькотеплопровідного матеріалу, розміщений між внутрішнім і зовнішнім шарами, забезпечує термічну ізоляцію зовнішнього шару (11) пастки (8) на початковій стадії надходження розплаву активної зони. Основним призначенням заповнювач (12) є захист від термоударів і освіту гарнісажу на внутрішній поверхні зовнішнього шару (11) пастки (8). Внутрішній шар (13) нагрівається коріум і розплавляється, тепло передається заповнювача (12), який, нагріваючись, розплавляється і утворює гарнісажну кірку на відносно холодній внутрішній поверхні зовнішнього шару багат шарового сосу́ду (11). Цей процес йде до повного розплавлення внутрішнього шару (13) і заповнювач (12) багат шарового сосу́ду. Процес плавлення і розчинення заповнювач (12) в коріумі відбувається досить швидко, що обумовлено малою теплопровідністю заповнювач, тому, практично, весь тепловий потік з боку коріуму до внутрішнього шару (13) багат шарового сосу́ду буде витрачатися на розплавлення самого внутрішнього шару (13) і заповнювач (12). Гарнісажу, утворений заповнювачем, дозволяє обмежити тепловий потік на зовнішній шар (11) багат шарового сосу́ду, перерозподілити тепловий потік по висоті зовнішнього шару (11) і вирівняти його щодо локальних перепадів по висоті і азимуту (в діаметральній площині багат шарового сосу́ду).

Обмеження щільності теплового потоку, що проходить через зовнішній шар (11) багат шарового сосу́ду, необхідно для забезпечення стійкої безкризової теплопередачі до кінцевого поглинача тепла - воді, що омиває пастку розплаву (8). Теплопередача до води здійснюється в режимі "кипіння у великому обсязі", що дозволяє забезпечити пасивний відвід тепла необмежений час. Функцію обмеження теплового потоку виконують два елементи

системи локалізації та охолодження розплаву активної зони ядерного реактора.

Перший елемент - наповнювач (10), який, з одного боку, забезпечує розбавлення і збільшення обсягу тепловиділяючої частини коріуму, що дозволяє збільшити площу теплообміну, зменшивши, тим самим, щільність теплового потоку через зовнішній шар (11) пастки (8), а з інший - забезпечує інверсію оксидної і металеві складових коріуму, при якій оксидна складова переміщується вгору, а рідкометалева опускається вниз, тим самим, зменшуючи максимальні теплові потоки на зовнішній шар (11) за рахунок перерозподілу теплових потоків в нижній частині пастки (8). Другий елемент - заповнювач (12) багат шарового сосуду, що забезпечує зменшення (вирівнювання) максимальних теплових потоків на зовнішньому шарі (11) за рахунок утворення тугоплавкої гарнісажної кірки, що забезпечує перерозподіл максимальних теплових потоків з боку коріуму по висоті і азимуту зовнішнього шару (11) пастки (8).

Пара, що утворюється на зовнішній поверхні зовнішнього шару (11), піднімається вгору і через пароскидні канали надходить в обсяг гермозони, де конденсується. Конденсат з гермозони надходить в приямок, пов'язаний прохідними перетинами з шахтою реактора (3), в якій встановлена пастка розплаву (8). Таким чином, при тривалому охолодженні пастки забезпечується циркуляція охолоджуючої води і постійний відвід тепла від зовнішнього шару (11). Коріум в пастці (8) поступово остигає в міру зменшення акумульованого тепла та тепла залишкових енерговиділень. На початковій стадії охолодження розплаву, після завершення взаємодії з наповнювачем (10), основний теплообмін здійснюється через зовнішній шар багат шарового сосуду (11). Після подачі води всередину пастки (8) відбувається поступове вирівнювання теплових потоків: тепловий потік через зовнішній шар (11) стає рівним тепловому потоку з поверхні коріуму. На останній стадії може спостерігатися переважання прямого охолодження коріуму подачею води всередину пастки (8), що можливо в разі утворення проникною для води структури при затвердінні коріуму.

Таким чином, зазначена пастка (8) системи локалізації та охолодження розплаву активної зони ядерного реактора водоводяного типу, в цілому, дозволяє підвищити ефективність відведення тепла від розплаву при збереженні цілісності зовнішнього шару багат шарового сосуду (11).

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Система локалізації й охолодження розплаву активної зони ядерного реактора водо-водяного типу, що містить:

напряму плиту у формі лійки, установлену під днищем корпусу реактора, ферму-консоль, установлену під прямою плитою таким чином, що плита опирається на ферму-консоль,

пастку розплаву, установлену під фермою-консоллю й оснащену охолоджуваною оболонкою у вигляді багат шарової посудини для захисту зовнішньої теплообмінної стінки від динамічного, термічного й хімічного впливів,

і наповнювач для розведення розплаву, розміщений у згаданій багат шаровій посудині, яка **відрізняється** тим, що зазначена багат шарова посудина має металеві зовнішню і внутрішню стінки і розміщений між ними заповнювач з низькотеплопровідного, відносно матеріалів стінок, матеріалу,

при цьому товщина заповнювача $h_{\text{зап.}}$ задовольняє умову:

$$0,8h_{\text{нар.}} < h_{\text{зап.}} < 1,6h_{\text{нар.}},$$

де $h_{\text{нар.}}$ - товщина зовнішньої стінки посудини.

2. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що зовнішня і внутрішня стінки виконані зі сталі.

3. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що в ній використаний заповнювач з температурою плавлення 800-1400 °C.

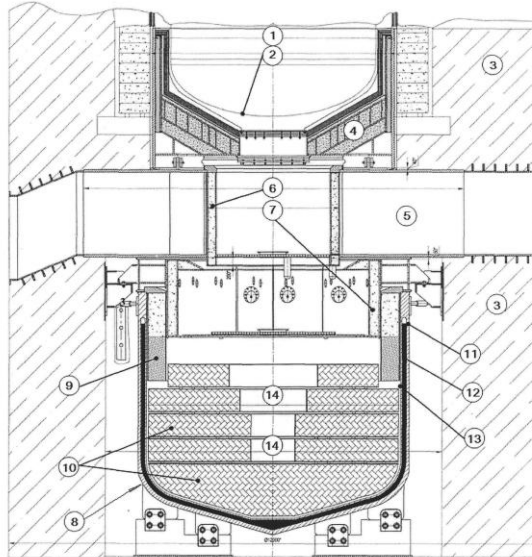
4. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що як заповнювач використаний шар бетону або керамічного матеріалу, який має теплопровідний зв'язок з зовнішньою стінкою багат шарової посудини.

5. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що між зовнішньою і внутрішньою стінками розміщені силові ребра, товщина яких ($h_{\text{реб.}}$) задовольняє умову:

$$0,5h_{\text{нар.}} < h_{\text{реб.}} < h_{\text{нар.}}$$

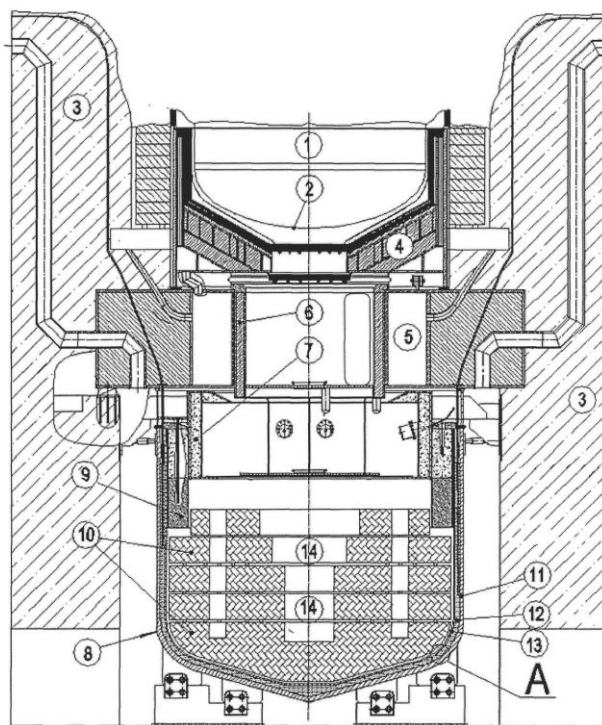
6. Система за п. 5, яка **відрізняється** тим, що силові ребра проходять через внутрішню стінку у внутрішній об'єм посудини, утворюючи захисний каркас.

7. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що посудина має у верхній частині фланець, зовнішній і внутрішній діаметри якого збігаються з зовнішнім і внутрішнім діаметрами, відповідно, зовнішньої і внутрішньої стінок посудини.
8. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вона додатково містить штучний гарнісажний шар, розміщений між зовнішньою стінкою і заповнювачем посудини, при цьому гарнісажний шар виконаний на основі щонайменше одного з оксидів, вибраних з оксиду цирконію, оксиду алюмінію, оксиду заліза, при вмісті основи в шарі не менше 20 мас. %.

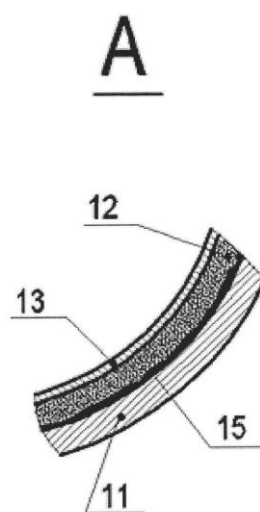


Фиг. 1а)

10



Фиг. 1 б)



Фиг. 2