



УКРАЇНА

(19) UA (11) 83014 (13) C2
(51) МПК (2006)
G21C 15/18МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) БАСЕЙН ДЛЯ ВИТРИМКИ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

1

2

(21) a200505436

(22) 07.06.2005

(46) 10.06.2008, Бюл. № 11, 2008 р.

(72) СВИРИДЕНКО ІГОР ІВАНОВИЧ, UA, МОСКА-
ЛЕНКО ОЛЕКСАНДР ЮРІЙОВИЧ, UA(73) СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA(56) UA, патент №682U, G21C19/06, G21F5/10,
публ. 16.10.2000.RU, патент №2002321, G21C15/18, публ.
30.10.1993.RU, патент №2073920, G21C15/18, публ.
20.02.1997.DE, заявка №19632678, G21C19/07, G21F5/008,
публ. 19.02.1998.(57) Басейн для витримки відпрацьованого ядер-
ного палива, що включає відсіки з розміщеними в
стелажах тепловідільними збірками та систему

пасивного відведення залишкових тепловиділень відпрацьованого ядерного палива, який **відрізняється** тим, що система пасивного відведення залишкових тепловиділень відпрацьованого ядерного палива виконана у вигляді автономних секцій із проміжним двофазним теплоносієм, кожна з яких являє собою кільцевий двофазний термосифон, що містить випарник, який розташований у басейні, і конденсатор, який розташований вище випарника за межами гермозони реакторного відділення та охолоджується атмосферним повітрям, при цьому конструкція випарника виконана у вигляді вертикальної трубної ділянки, що забезпечує працездатність системи незалежно від зміни рівня води у басейні та надійне тепловідведення за наявності температурного напору між ділянками підведення й відведення теплоти.

Винахід належить до ядерної енергетики, конкретно, до пристроїв, що забезпечують тривалу витримку й зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) після його вивантаження з активної зони реактора атомної електростанції (АЕС). Витримка ВЯП на АЕС здійснюється в приреакторних басейнах під шаром води з метою зниження радіоактивного випромінювання й рівня залишкових тепловиділень.

Відома будова басейну витримки ВЯП АЕС із системою охолодження води, яка забезпечує відведення залишкових тепловиділень від тепловідільних збірок, що перебувають у басейні [Система расхолаживания БВ блока №2 (ТГ). Инструкция по эксплуатации. Техническое описание. №2. РЦ.3383.ИУ-03. -Кузнецовск: РАЭС, 2003. -68с.]. Охолодження води басейну витримки здійснюється за рахунок її примусової циркуляції за допомогою циркуляційного насоса через теплообмінний апарат. Циркуляція зовнішнього контуру охолодження теплообмінного апарату реалізується також примусово за допомогою окремого циркуляційного насоса і охолодження води зовнішнього контуру в бризкальному басейні. Ця система охолодження крім роботи в нормальних умовах, повинна забезпечувати безпеку охолодження ВЯП у

випадку аварійних ситуацій, тому вона має трикратне резервування.

Недоліком наведеної системи охолодження басейну витримки є використання примусової циркуляції води за допомогою насосів з електроприводами.

За умов тривалої втрати електропостачання власних потреб і неможливості підключення аварійних джерел електроенергії забезпечення нормального відведення залишкових тепловиділень ВЯП буде обмежено часом нагрівання води в басейні до лінії насичення та наступного її випару. Це призведе до оголення оболонок тепловідільних елементів і до їх руйнування, що стане причиною ядерної аварії. Залежно від завантаження басейну витримки відпрацьованим паливом час випару води може становити від декількох діб до декількох годин. Охолодження басейну за рахунок природної циркуляції води за таким компонуванням системи неможливо, тому що теплообмінник системи охолодження розташований істотно нижче басейну. З цієї ж причини неможливо організувати й природну циркуляцію зовнішнього контуру охолодження, тому що бризкальний басейн і теплообмінник знаходяться практично на одному рівні.

(13) C2

(11) 83014

(19) UA

Найбільш близьким за сукупністю істотних ознак узятого як прототип даного винаходу є басейн витримки відпрацьованого ядерного палива з пасивною системою охолодження на основі теплових труб [Нищик О.П., Гершуні О.Н., Письменний Є.М. Басейн витримки відпрацьованого ядерного палива // Патент України №682. -2000. -Бюл. №5]. У цьому басейні відведення залишкових тепловиділень ВЯП реалізуються за допомогою випарно-конденсаційних пристроїв - теплових труб, випарні ділянки яких перебувають усередині герметичної оболонки біологічного захисту, а конденсаційні ділянки винесені за її межі в камеру теплообміну, з'єднану з водоймищем, розміщеним на зовнішньому боці оболонки біологічного захисту.

Прототип має низку істотних недоліків, а саме: організація природної конвекції води басейну, що обмиває випарні ділянки теплових труб, через систему каналів, яка формується з бічних вікон. В умовах випару води з басейну або аварійної його течії, рівень води в басейні почне знижуватися. При зниженні рівня нижче верхнього вікна тракт природної циркуляції води буде розірваний, що призведе до порушення умов тепловідведення від ВЯП до випарників теплових труб і відмови системи охолодження.

Наступний недолік полягає у використанні води як кінцевого поглинача залишкових тепловиділень ВЯП. По мірі поглинання теплоти вода буде випаровуватися, отже, для підтримки у водоймищі рівня, необхідного для забезпечення циркуляції через систему вікон і камер, куди виведені конденсаційні ділянки теплових труб, необхідна додаткова система поповнення води, а також система контролю рівня. В аварійній ситуації із тривалою втратою електропостачання власних потреб і неможливістю підключення аварійних джерел електроенергії забезпечити подачу води у водоймище буде неможливо. Система буде зберігати свою ефективну працездатність тільки доти, поки конденсаційні ділянки теплових труб будуть залишатися під шаром води.

Ще один недолік пов'язаний з використанням ущільнення, що є одночасно елементом біологічного захисту й несучою конструкцією збірки теплових труб. Таке ущільнення, що представляє собою трубну решітку, є неремонтопридатною конструкцією. В разі утворення течії у вузлі ущільнення якої-небудь з теплових труб, розташованих у внутрішніх рядах теплопередавальної збірки, відновити його герметичність без демонтажу периферійних рядів теплових труб буде неможливо. Крім того, проведення подібних ремонтних робіт зажадає обов'язкового осушення камери теплообміну з водоймищем.

В основу винаходу поставлене завдання розробки басейну витримки ВЯП з надійною системою пасивного відведення залишкових тепловиділень (СПВТ), що функціонує як у нормальних умовах експлуатації АЕС, так і під час аварії з повним тривалим знеструмленням і неможливістю підключення зовнішніх джерел електроенергії.

Розв'язання поставленого завдання досягається тим, що басейн витримки містить СПВТ, виконану у вигляді автономних секцій, що представляють собою кільцеві двофазні термосифони з

проміжним теплоносієм. Випарник кільцевого двофазного термосифону розташований у воді басейну витримки ВЯП, а конденсатор, розташований вище випарника й виведений за межі контейнента та гермооболонки, що дає змогу забезпечити передачу теплоти кінцевому поглиначу - навколишньому повітрю. Кільцевий двофазний термосифон, що являє собою випарно-конденсаційний пристрій замкнутого типу, служить автономним проміжним контуром теплопередавання між басейном витримки ВЯП і атмосферним повітрям, що забезпечує екологічну безпеку системи. Відведення теплоти від басейну витримки до кінцевого поглиначу здійснюється за рахунок перенесення прихованої теплоти пароутворення проміжного теплоносія кільцевого двофазного термосифона з випаром і конденсацією на відповідних ділянках.

Сутність винаходу пояснюється кресленнями. На Фіг. зображений загальний вигляд заявленого пристрою: де:

- 1 - тепловидільні збірки ВЯП;
- 2 - стелаж зберігання тепловидільних збірок;
- 3 - вода басейну витримки ВЯП;
- 4 - випарник;
- 5 - збірний паровий колектор;
- 6 - піднімальний паровий трубопровід;
- 7 - конденсатор;
- 8 - контейнмент реакторного відділення;
- 9 - гермооболонка;
- 10 - опускний конденсатний трубопровід;
- 11 - роздавальний конденсатний колектор;
- 12 - повітряний канал;
- 13 - отвір;
- 14 - потік охолоджуючого атмосферного повітря,
- 15 - дефлектор;
- 16 - нижня регламентна межа рівня води басейну витримки;
- 17 - гермопроходки;
- 18 - верхня аварійна межа рівня води басейну витримки.

Басейн витримки містить тепловидільні збірки ВЯП 1, встановлені в стелажах 2 під шаром води 3 і СПВТ, виконану у вигляді автономних секцій, що представляють собою кільцеві двофазні термосифони. Кільцевий двофазний термосифон містить вертикальні випарники 4, горизонтальний збірний паровий колектор 5, піднімальний паровий трубопровід 6, конденсатори 7, винесені за межі контейнента реакторного відділення 8 і гермооболонки 9, опускний конденсатний трубопровід 10 і горизонтальний роздавальний конденсатний колектор 11. Ділянка відведення теплоти кінцевому поглиначу містить повітряний канал 12 з отвором 13 для входу потоку охолоджуючого повітря 14 і дефлектором 15 для виходу охолоджуючого повітря в атмосферу. Випарники 4 розміщені уздовж стін басейну витримки. Збірний паровий колектор 5 розташований під нижньою регламентною межею 16 рівня води в басейні витримки. Роздавальний конденсатний колектор 11 прокладений паралельно днищу басейну витримки.

Для підвищення надійності відведення залишкових тепловиділень СПВТ містить декілька автономних секцій. Випарник кожної секції має надли-

шкову тепловіддавальну поверхню. Для підвищення ефективності теплоперенесення від ВЯП кінцевому поглиначу СПВТ виконана двофазною, що забезпечує зниження її термічного опору. Рух потоку охолоджуючого атмосферного повітря 14 здійснюється за рахунок утвореної в повітряному каналі 12 природної тяги при різниці температур, що формується між отвором 13 і дефлектором 15. Для підвищення ефективності тепловіддачі атмосферному повітрю конденсатор 7 має зовнішнє оребрення.

СПВТ басейну витримки працює таким чином. Залишкові тепловиділення від ВЯП відводяться до води басейну витримки за допомогою природної конвекції. Тепло від води басейну витримки передається зовнішній поверхні вертикальних випарників 4, усередині яких відбувається випар проміжного теплоносія. Далі пара проміжного теплоносія через збірний паровий колектор 5 надходить до підімального парового трубопроводу 6, який через гермопроходки 17 виводиться за межі контейнента реакторного відділення 8 і гермооболонки 9 і з'єднується з конденсаторами 7. Завдяки охолодженню потоком атмосферного повітря 14 пара проміжного теплоносія конденсується і вже у вигляді конденсату опускається по опускним конденсатним трубопроводам 10 і роздавальним конденсатним колекторам 11 за рахунок сил гравітації повертається до випарників 4.

Заявлений пристрій порівняно з прототипом має низку переваг.

- Підвищена надійність роботи СПВТ басейну витримки забезпечена тим, що СПВТ виконана у вигляді автономних секцій, працездатність яких не залежить одна від одної, і випарник кожної секції має надлишкову тепловіддавальну поверхню. При розгерметизації однієї з секцій, інші приймають на себе додаткове теплове навантаження, зберігаючи теплопередавальну здатність всієї СПВТ. Крім того, працездатність СПВТ не залежить від зміни рівня води в басейні витримки. Функціонування СПВТ буде забезпечено як при підвищенні рівня води до верхньої аварійної межі 18 під час розбирання реактора й перевантаження палива, так і за умов можливого зниження рівня води щодо нижньої регламентної межі 16, наприклад, через аварійну течу басейну, або випаровування води із басейну. Причому, в останньому випадку по мірі зниження рівня води у басейні і оголення зовнішньої поверхні випарника працездатність СПВТ не знижується, тому що випарник має завідомо надлишкову поверхню.

- Підвищена ефективність СПВТ басейну витримки досягнута вибором проміжного теплоносія кільцевого двофазного термосифона. Температура води в басейні витримки ВЯП повинна підтримуватися не вище 50°C. Проміжний теплоносіє двофазного термосифона, наприклад, розчин етилового спирту з водою в умовах вакууму 0,05·10⁵Па має температуру насичення істотно нижчу 50°C. Тому, механізм функціонування СПВТ на основі кільцевого двофазного термосифону забезпечує постійне відведення теплоти від басейну витримки за наявності температурного напору між ділянками підведення й відведення теплоти всього лише в кілька градусів.

- Багатофункціональність СПВТ басейну витримки базується на тому, що СПВТ забезпечує відведення залишкових тепловиділень ВЯП, як в умовах нормального функціонування АЕС, так і виконує ефективне охолодження басейну витримки й в аварійних ситуаціях при повному тривалому знеструмленні АЕС. Тому пропонується СПВТ є також аварійною системою, важливою для безпеки.

- Підвищена економічність роботи СПВТ басейну витримки досягнута тим, що СПВТ не має насосів і арматури, отже, не має потреби у витратах електроенергії на власні потреби.

- Простіша конструкція СПВТ басейну витримки досягнута тим, що випарник, конденсатор і з'єднуючі їх транспортні трубопроводи збираються з трубних ділянок і являють собою замкнутий контур циркуляції двофазного теплоносія. Гермопроходки 17, що виконують функцію ущільнювального елемента, забезпечують прохід через контейнер і гермооболонку тільки однічного трубопроводу, зручні для ремонтного обслуговування або заміни.

- Можливість скорочення часу ремонту АЕС за рахунок впровадження пропонованої СПВТ для басейну витримки ВЯП. Оскільки запропонована СПВТ не має ні насосів, ні арматури, істотно скорочується час, відведений на ремонт, і випробування систем безпеки АЕС, а, отже, на ремонт АЕС у цілому.

Технічне рішення, пов'язане з використанням СПВТ басейну витримки у вигляді автономних секцій із проміжним двофазним теплоносієм, що являє собою кільцевий двофазний термосифон, який містить випарник, розміщений у басейні, а конденсатор, розташований вище випарника й виведений за межі гермозони реакторного відділення, охолоджується атмосферним повітрям, при цьому завдяки конструкції випарника у вигляді вертикальної трубної ділянки працездатність системи не залежить від зміни рівня води в басейні, забезпечуючи надійне тепловідведення за наявності температурного напору між ділянками підведення й відведення теплоти, як в умовах нормального функціонування, так і в аварійних ситуаціях при повному тривалому знеструмленні АЕС, є істотним, тому що заявлене рішення забезпечує появу нових, відмінних від прототипу властивостей: підвищеної надійності, високої ефективності, багатофункціональності, економічності, простої конструкції, і можливості скорочення часу ремонту систем безпеки АЕС.

Таким чином, пропоноване рішення має істотні відмінності, а підвищення надійності, ефективності й економічності відведення залишкових тепловиділень ВЯП як за нормальних умов експлуатації АЕС, так і при аварії з повним тривалим знеструмленням дозволяють досягти позитивного ефекту.

Техніко-економічна ефективність пропонованого винаходу полягає у можливості істотного підвищення показників надійності, ефективності та економічності систем нормальної експлуатації АЕС, що забезпечують тривале зберігання ВЯП у приреакторному басейні витримки, а також забезпечення надійності й безпеки відведення залишкових тепловиділень ВЯП з басейну при аварії з повним тривалим знеструмленням АЕС за рахунок

використання СПВТ на основі кільцевого двофазного термосифона для відведення теплоти кінцевого поглинаюча. Безпека ВЯП в умовах аварійного відведення теплоти від басейну витримки буде забезпечена протягом необмеженого часу протікання аварійного процесу в умовах повного тривалого знеструмлення.

Відсутність будь-яких елементів активного типу в складі СПВТ, наприклад, насосів і арматури, дозволяє скоротити час ремонтного обслуговування й випробувань систем безпеки АЕС і, відповід-

но, час ремонту АЕС у цілому. Отже, у межах експлуатаційно-ремонтного циклу станції збільшується тривалість експлуатаційного періоду з відповідним зростанням виробітку електроенергії.

Пропонована СПВТ розміщується в басейні витримки експлуатованих сьогодні проектів АЕС без будь-яких змін конфігурації басейну. Вона не вимагає додаткових каналів для організації циркуляції води в басейні витримки.

