

АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВР-М

С. І. Азаров, О. В. Бабич, Л. М. Віленська, О. І. Малько

Запропоновано результати досліджень процесів виникнення вибухів та пожеж на дослідницькому реакторі ВВР-М. Наведено дані по оцінюванню та прогнозуванню пожежонебезпечного стану, а також по розробці управлінських рішень оперативно-технічними завданнями для аварійно-рятувальних служб.

Дослідницький ядерний реактор (ДЯР) ВВР-М являє собою апарат "басейнового" типу, який працює при атмосферному тиску з максимальною температурою води 50 °С, що охолоджує активну зону.

Теплова потужність реактора 10 МВт.

У результаті загорань і пожеж на ДЯР можливі такі негативні наслідки [1]:

порушення стійкості внутрішніх будівельних і огорожуючих конструкцій, їх обвалення, яке супроводжується викидом у навколишнє середовище значної кількості радіоактивних речовин;

порушення в роботі, аж до повної втрати, систем контролю й підтримки ядерної й радіаційної безпеки, а також забезпечуючих їх систем, в першу чергу електропостачання;

створення загрози для персоналу ДЯР за рахунок впливів вогню, високих температур, утворення і розповсюдження диму й отруйних продуктів горіння;

збільшення дозових навантажень на персонал і команди пожежних частин, які беруть участь у гасінні пожеж;

втрата матеріальних цінностей.

Крім перелічених, слід врахувати побічні наслідки загорань і пожеж, пов'язаних у першу чергу з використанням на ДЯР деяких речовин вогнегасіння. Зокрема, при застосуванні для цих цілей води можливі такі негативні наслідки:

інтенсифікація реакції поділу, аж до самопідтримуючої ланцюгової реакції, за рахунок уповільнення нейтронів і вимивання поглинаючих речовин;

протікання забрудненої радіоактивними речовинами води через нещільності будівельних конструкцій і фундаментів.

Основними цілями протипожежного захисту ДЯР є:

запобігання впливу пожеж та їх наслідків на ядерну й радіаційну безпеку ДЯР, стійкість його будівельних конструкцій і герметизуючих бар'єрів, працездатність систем контролю й забезпечення ядерної та радіаційної безпеки;

захист персоналу ДЯР від небезпечного впливу пожеж та їх наслідків;

виключення втрати матеріальних цінностей.

Організація протипожежного захисту ДЯР повинна базуватися на таких принципах:

аналіз пожежостійкості ДЯР і впливу на неї внутрішніх і зовнішніх причин та потенційних джерел виникнення пожеж, включаючи природні явища й техногенні фактори (принцип аналізу пожежонебезпечності);

реалізація заходів з профілактики загорань і пожеж (принцип профілактики);

своєчасне виявлення й ліквідація загорань (принцип раннього виявлення);

вплив та ізоляція найбільш небезпечних зон і реалізація заходів по запобіганню розповсюдження вогню й продуктів горіння (принцип зонування);

оснащення ДЯР сучасними технічними засобами боротьби з пожежами та мінімізація їх наслідків (принцип технічної готовності);

постійна готовність до реалізації організаційних заходів по ліквідації пожеж і мінімізації їх наслідків (принцип управління пожежами);

створення нормативної бази пожежобезпеки ДЯР, враховуючи його специфічні особливості, в першу чергу підвищену радіаційну небезпечність (принцип нормативного регулювання).

Комплексне виконання вказаних принципів утворює глибокоєшелонований протипожежний захист ДЯР.

1. Характеристика приміщень ДЯР ВВР-М

Пожежа, що може виникнути за межами активної зони (АЗ) дослідницького реактора в зоні розташування твердих горючих матеріалів (ТГМ) внаслідок дії вогню або теплового випромінювання на матеріали, що діляться (ДМ), і входять до складу активної зони ДЯР, розмножуючих збірок або експериментальних зразків, а також сховищ свіжого та відпрацьованого ядерного палива може супроводжуватися диспергуванням ДМ, переводом ДМ в аерозольний стан і їх викидом з осередку пожежі в навколишнє середовище. У зв'язку з цим актуальною є задача оцінки високотемпературної дії на ДМ при пожежах та визначення умов, при яких така дія включається й тим самим запобігаються радіаційні аварії, пов'язані з виникненням осередків загорань у робочому залі ДЯР.

Характер процесу розвитку пожежі, можливість переростання осередку загорання в локальну або об'ємну пожежу зумовлено пожежонебезпечністю приміщення та обладнання, що в ньому знаходиться, а саме: конструктивно-планувальними характеристиками приміщення (V , $S_{\text{заг}}$, Π , S_w , S_n , висотою приміщення H , розмірами проїмів за висотою h та місцезташуванням їх відносно підлоги y), вогнестійкістю перекриттів та стін приміщень (товщиною перекриття, стін, колон, балок, класом арматури, товщиною захисного шару бетону зверху арматури тощо), рівнем пожежного навантаження (характером і кількістю матеріалів, що згорають, їх розташуванням), а також можливими діями персоналу та пожежних служб по локалізації осередку загорання.

Реакторний зал ВВР-М (Київ) – приміщення казематного типу з товстими до 3 м стінами, до 1 - 1,5 м перекриттями, об'ємом 10^3 м^3 і висотою близько 10 м.

Відносна частка прорізів Π до 5 % при відкритих дверях і до 1 % - при закритих. Перекриття звичайні однопролітні з несучими конструкціями у вигляді ферм з жорстким кріпленням на опорах, тобто являють собою монолітну залізобетонну конструкцію.

2. Пожежне навантаження

В якості пожежного навантаження звичайно виступають тверді горючі матеріали: вироби й оснастка з поліетилену та інших горючих матеріалів; дерев'яні упаковки виробів зовнішньої поставки; елементи обладнання з дерева або деревоволокнистих плит, а також з поліетилену у вигляді оболонок детекторів, експериментальних пристроїв; пластикатне покриття підлоги; емалеве покриття стін, стель; електроізоляція у джгутах електричних кабелів та електропроводки; оболонки з поліетилену, вмонтовані в металеві чохла захисних контейнерів; "теплова" (графітова) колонка.

Пожежне навантаження характеризується масою G , питомою теплотою згорання Q_n^p , максимальною швидкістю вигорання ψ_0 (при достатній кількості кисню), швидкістю розповсюдження полум'я по поверхні u_0 , температурою самозаймання $T_{\text{сз}}$ або спалахування під дією вогню T_v , критичною температурою газів у приміщенні $T_{\text{кр}}$, при якій полум'я розповсюджується по поверхні речовини, що згорає.

Пожежно-технічні характеристики деяких матеріалів, які найбільш часто зустрічаються в реакторному залі ДЯР, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Пожежно-технічні характеристики деяких матеріалів

Матеріал	Q_n^p , МДж/кг	ψ_0 , кг/(м ² ·с)	u_0 , м/с	Т, °С		
				вогню	само- займан- ня	крити- чна
Суха деревина	13,8	$15 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-2}$	270	330	—
Пластикат рецептури 57-40 Полівінілхлорид	17,9	$6,47 \cdot 10^{-3}$	—	275	—	235
Поліетилен	44	—	—	~ 300	~ 400	—
Оргскло (поліметил – метакрилат)	25	$11,6 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	—

Величини Q_n^p , наведені в табл. 1, одержано з оцінок за формулою Менделєєва

$$Q_n^p = 81 C + 300 H - 26(O - S), \quad (1)$$

де С, Н, О і S – частки вуглецю, водню, кисню та сірки відповідно в масових відсотках.

Після оцінок за формулою (1) вводився поправочний множник 0,93 для того, щоб узгодити результати розрахунків з даними Q_n^p , що наводяться в літературі для деревини та оргскла. У результаті при перерахунку пожежного навантаження в приміщенні до стандартної деревини пропонується користуватись співвідношеннями: 1 кг стандартної деревини еквівалентний за питомою теплою згорання 0,77 кг пластикату рецептури 57 - 40 або 0,315 кг поліетилену, або 0,55 кг поліметилметакрилату.

3. Причини виникнення осередку займання в реакторному залі

Причинами виникнення осередку займання в реакторному залі можуть бути:

відмова електроустаткування (коротке замикання);

необережність у поводженні з відкритим вогнем під час ремонту устаткування (наприклад, при зварювальних роботах);

порушення інструкцій з пожежної безпеки;

зовнішні дії, що призводять до пожеж поза реакторним залом (удари блискавки, падіння літака, техногенні вибухи, диверсії та ін.) з подальшим проникненням вогню через кабельні канали, прорізи, розповсюдження вогню по спалимим покриттям підлог, стін та стель у зони розміщення ТГМ і подальшим розвитком пожежі.

Якщо в приміщенні реакторного залу відсутні протипожежні розриви, а пожежне навантаження достатньо велике, можна припустити, що в гіршому випадку локальний осередок займання може поступово охопити все пожежне навантаження та перерости в об'ємну пожежу. При оцінці динаміки такої пожежі будемо виходити з припущення, що вона розвивається вільно, тобто при відсутності протидії з боку персоналу та пожежних служб.

4. Види пожеж

Розрізняють пожежі локальні та об'ємні. При об'ємній пожежі горить все пожежне навантаження, яке є в приміщенні, температура газів за рахунок їхнього турбулентного перемішування вирівнюється.

Пожежі поділяють також на такі, що регулюються навантаженням (ПРН), та такі, що регулюються вентиляцією (ПРВ). Відрізняються вони тим, що в другому випадку питоме пожежне навантаження q_k є вище за деяку критичну величину $q_{кр}$ і для його вигорання недостатньо кисню. Тому інтенсивність пожежі визначається розміром та розміщенням прорізів, через які в осередок пожежі з навколишнього середовища підводиться кисень. Значення $q_{кр}$ наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Залежність питомого критичного пожежного навантаження $q_{кр}$, кг/м² (за стандартною деревиною) від об'єму приміщення V та долі площини прорізів Π

П, %	V, м ³			
	162,4	545	5 750	11 500
0	0,25	0,25	0,5	0,5
5	0,75	1,0	1,25	1,5
10	3,5	4,0	4,25	4,5
20	7,8	8,0	8,25	8,5
30	9,0	9,1	9,3	9,5

У цьому випадку при розрахунку $q_{кр}$ масу пожежного навантаження відносять до площини всієї поверхні, що обігривається в приміщенні $S_{зар}$, тобто сумарної поверхні стін, підлоги та стелі, вирахувавши площини прорізів. При розрахунку Π площину прорізів S_w відносять до площини підлоги приміщення S_n .

За цим співвідношенням знаходимо еквівалентну масу пожежного навантаження G . Поділивши її на $S_{зар}$, отримаємо величину q_k . Порівнявши q_k з величиною $q_{кр}$, що визначено в табл. 2, робимо висновок про характер можливої пожежі в приміщенні.

5. Оцінка можливості розповсюдження вогню

Оцінку можливості розповсюдження вогню по пластикатному покриттю підлоги можна провести виходячи з умови, що вогонь не розповсюджується по пластикату, якщо змінне пожежне навантаження не перевищує допустимого значення 100 кг за деревиною (30 - 40 кг за поліетиленом). Цю умову виконати важко, тому що в реакторному залі знаходяться кабельні джгути, у тому числі пов'язані з блоками детектування, що мають масивні поліетиленові оболонки. Якщо осередок запалювання охопить ці спалімі матеріали, то достатньо вогню попасти на пластикат (наприклад, при обпаданні електроізоляції, що горить, поліетилену), щоб розповсюдитись на всі ТГМ, що знаходяться в залі. У результаті локальний осередок займання переростає в об'ємну пожежу. Аналогічно можливо оцінити спроможність розповсюдження вогню по спалімих (емалевим багат шаровим) покриттям стін та стелі реакторного залу, проте для того, щоб цей процес мав місце, необхідний постійний вплив теплового випромінювання від локального осередку займання. Наприклад, емалеве багат шарове покриття буде вигорати достатньо вузькою смугою вздовж електропроводки, що горить, або в районі факела полум'я при горінні якихось ТГМ поблизу поверхні стін. Цікаво відзначити, якщо кількість ТГМ, що горять, незначна (не перевищує вказаного вище допустимого пожежного навантаження), пластикат вигорає лише поблизу факела полум'я (від 0,2 до 0,5 м залежно від розміру факела). Таким чином, пластикат у цьому випадку є "прихованим" пожежним навантаженням.

6. Характеристики об'ємної пожежі

У теперішній час відсутні нормативні вимоги по обмеженню пожежного навантаження реакторних залів. У той же час, як було вказано вище, важко виконати умови, що виключають розповсюдження полум'я по спалімих покриттям підлоги, стелі, стін за

рахунок обмеження маси спалимих речовин у приміщеннях ДЯР. Отже, виникнення об'ємних пожеж у реакторному залі належить віднести до категорії ПРВ.

Характеристики таких пожеж можливо оцінити за формулами [2]:
середньооб'ємна максимальна температура газів у приміщенні

$$T_{\text{макс}} - T_0 = 320 qk^{0,528} (1,08 - 9 \cdot 10^{-3} \Pi), \quad (2)$$

де $\Pi > 4,5 \%$;

еквівалентний діаметр осередку (факела) пожежі

$$D = \sqrt{\frac{4}{\Pi} F_{\text{гор}}}, \quad (3)$$

де $F_{\text{гор}}$, м^2 - площа, на якій відбувається горіння пожежного навантаження (звичайно $F_{\text{гор}} = S_{\text{заг}}$);

висота, а якій температура газів у полум'ї досягає максимального значення ($\sim 1100 \text{ }^\circ\text{C}$)

$$Y_{\text{макс}} = 1,08 D, \quad (4)$$

висота факела полум'я

$$H_0 = (2,5 - 3) Y_{\text{макс}}, \quad (5)$$

швидкість вигорання пожежного навантаження

$$R_{\text{макс}} = 91,75 S_w h^{1/2}, \quad (6)$$

тривалість пожежі

$$t_n = \frac{q_k S_{\text{повн}} Q_n^p}{6285 \cdot S_w h^{1/2}}, \quad (7)$$

швидкість газів у полум'ї по осі факела на висоті $\bar{y} = \frac{y}{Y_{\text{макс}}}$

$$u = 10,6(\bar{y})^{1,32} e^{-0,69 \bar{y}} \cdot D^{0,5}, \quad (8)$$

Згідно з оцінками: t_n коливається від 0,45 до 6 г (залежно від рівня пожежного навантаження та стану прорізів $t_{\text{макс}}$ може досягати $1000 \text{ }^\circ\text{C}$); H_0 від 2 до 10 м, тобто полум'я охоплює значну частину об'єму залу і безпосередньо впливає на ДМ впродовж тривалого часу, може приводити до виникнення оксидів ДМ з розміром частинок до $6 \cdot 10^{-9}$ м; швидкість газів є достатньою для того, щоб переводити оксиди в стан аерозолію; кратність обміну повітря в об'ємі реакторного залу за час пожежі (~ 10) є достатньою для виносу аерозолів в оточуюче середовище через прорізи, у тому числі систему вентиляції, де під час пожежі руйнуються фільтри газоочистки. Таким чином, пожежонебезпека реакторного залу є достатньо великою і не виключає можливості переростання осередку займання в об'ємну пожежу й може супроводжуватися забрудненням оточуючого середовища аерозолями радіоактивних речовин.

7. Оцінка виносу радіонуклідів при горінні радіоактивних матеріалів

У реакторному залі ВВР-М знаходяться радіоактивні матеріали, які під час пожежі з продуктами горіння можуть виділяти радіоактивні аерозолі. Оцінимо, наприклад, концентрацію радіоактивних аерозолів ^{137}Cs , що утворюються в зоні пожежі.

Припустимо, що маса M матеріалу, що згорає з виділенням радіоактивних аерозолів, знаходиться в межах $1,0 \div 1,5 \text{ кг/м}^2$. У такому випадку в аерозольний стан з 1 м^2 переходить ϵM речовини, де $\epsilon = 0,03$. Маса однієї аерозольної частинки [3]

$$m = 4/3\pi r^3 \rho, \quad (9)$$

де ρ - питома вага речовини аерозольної частинки; r - радіус аерозольної частинки.

При повному згоранні буде утворено

$$N = \frac{\epsilon M}{m} \quad (10)$$

аерозольних частинок у повітрі. Так як при повному згоранні в зоні пожежі утворюється димовий аерозоль з концентрацією n , то його об'єм буде

$$V = \frac{N}{n}. \quad (11)$$

Хай щільність забруднення горючої речовини ^{137}Cs дорівнює A . Якщо через P означити частинку ^{137}Cs , що вивільнюється під час пожежі, то в повітря разом з N аерозольними частинками його потрапить

$$K = PA. \quad (12)$$

Тоді концентрація ^{137}Cs буде

$$C = \frac{K}{V} \quad (13)$$

або

$$C = \frac{4\pi^3 \rho n P A}{\epsilon M}. \quad (14)$$

Розглянемо два випадки пожежі в реакторному залі:

а) пожежа категорії ПРВ;

б) пожежа категорії ПРН.

Будемо вважати, що $n = 10^5 \text{ см}^{-3}$.

У випадку *a* при пожежі з параметрами $P = 0,3$, $M = 1,5 \text{ кг/м}^2$, $r = 0,1 \text{ мкм}$ концентрація ^{137}Cs у повітрі буде досягати $4 \cdot 10^{-11} \text{ Ки/м}^3$ при щільності забруднення 10^7 Ки/м^2 .

Якщо вважати, що r дорівнює $0,2 \text{ мкм}$, то при інших рівних умовах концентрація ^{137}Cs підвищується у 8 разів.

У табл. 3 наведено результати розрахунків у випадку *б*.

Таблиця 3. Концентрація радіоактивних аерозолів при різних щільностях забруднення

Концентрація радіоактивних аерозолів, Ки/м ³	Щільність забруднення, Ки/м ³			
	10 ⁵	4 · 10 ⁶	6 · 10 ⁶	10 ⁷
C · 10 ⁹	2,0	90	110	240

Оцінки та дані табл. 3 показують, що при пожежі в реакторному залі у випадку б концентрація ¹³⁷Cs може перевищувати ДК_а.

Очевидно, що ще більш небезпечними з точки зору викиду радіації будуть пожежі з горінням відпрацьованого ядерного палива АЗ та графіту “теплової” колонки.

8. Умови локалізації осередку займання

Очевидно, що виключення високотемпературних впливів на ДМ при виникненні осередку займання у реакторному залі можливе лише за умови, що цей осередок локалізується, тобто переростає у локальну пожежу, що припиняється в міру вигорання пожежного навантаження в цьому осередку. При цьому віддалення можливих осередків займання від місць розміщення ДМ повинно бути таким, щоб виключався вплив відкритого вогню на ДМ, потоки теплового випромінювання не перевищували значень, при яких температура поверхні деталей з ДМ становитиме більше ніж 350 °С. Ця температура відповідає збільшенню швидкості окислення ДМ, якщо деталі не мають захисних чохлаб або покриттів. Вона також близька до температури займання речовин, які можуть знаходитись у поєднанні з деталями ДМ (поліетилен та ін.).

Оскільки обмежити загальну кількість пожежного навантаження в реакторному залі на безпечному рівні важко, для локалізації осередку займання мають бути передбачені вимоги до розташування пожежного навантаження, розмірів пожежних розривів навколо зон розташування ТГМ. Для їхнього вироблення можливо скористатися формулою для розрахунку щільності потоку теплового випромінювання, що падає на поверхню спаленого покриття підлоги та стін залежно від віддалення від осередку займання:

$$q_R = A\sigma T_f^4 \left(\frac{x}{D}\right)^{-B}, \quad (15)$$

де T_f - ефективна температура полум'я (1370 К), σ - константа Стефана - Больцмана ($5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · град)); x - відстань від осі факела полум'я, м; A і B - коефіцієнти, що визначаються для вертикальної та горизонтальної поверхні відповідно залежно від оптичної характеристики осередку займання – числа Бугера (Bu):

$$Bu = k \cdot D, \quad (16)$$

де k - коефіцієнт ослаблення випромінювання газовим середовищем в об'ємі факела, м⁻¹:

$$k = 1,6 \cdot 10^{-3} T'_{\max} - 0,5, \quad (17)$$

де $T'_{\max} = T_f = 1370$ К при горінні стандартної деревини.

Вважаючи, що пластикат може горіти при $q_f = q_0 = 1,54 \cdot 10^4$ Вт/м², можливо одержати розмір ($x - D/2$), що характеризує ширину протипожежного розриву між зоною розташування ТГМ та пластикатним покриттям підлоги, а також ширину зони горіння емалевого покриття стін (тут $q_0 = 2,4 \cdot 10^4$ Вт/м² - для шестишарового покриття стін емаллю).

З умови $q_r = \sigma T_g^4$ можливо при допустимій температурі деталей з ДМ (T_g) або температурі самозаймання ТГМ одержати значення $x - D/2$, що характеризує віддалення зон зберігання ТГМ одна від одної та від місць розташування ДМ, при якому не буде відбуватися розповсюдження вогню за рахунок займання ТГМ при нагріванні, а також диспергування ДМ.

Оцінки показали, що локалізація осередків пожежі в реакторному залі та виключення високотемпературного впливу на ДМ при виникненні локальної пожежі можуть бути досягнуті за виконання таких умов:

з реакторного залу видалені надлишкові спалимі речовини, оснастка та устаткування, що їх вміщують, зокрема не допускається розміщувати деталі із ДМ на столах із спалимою верхньою частиною;

покриття підлоги під стійкою з детекторами нейтронів та під джгутами кабелів виконано з неспалимих речовин;

над місцями розташування відкритих ДМ та ТГМ не повинно бути електричних кабелів, електропроводки. У протилежному випадку ці місця необхідно устаткувати парасолею (ковпаком) з неспалимих матеріалів, наприклад зі сталі або ТГМ повинні знаходитись у металевих шафах;

місця розташування захисних контейнерів або ДМ у реакторному залі повинні бути віддалені на відстань не менше 0,4 м від відкритих (не ізольованих металевим покриттям) кабельних джгутів та не менше 2 м від зон розташування ТГМ;

віддалення детекторів нейтронів, що мають масивні поліетиленові оболонки, від АЗ, яка не має металевих чохла, повинно бути не менше 1 м "у світлі";

зони збереження неспалимої оснастки, експериментальних пристроїв устаткованих металевими шафами або масивними стійками, що виключають їх випадкове зміщення за межі кордонів виділених зон. Ці зони віддалені на відстань не менше 0,4 м від відкритих кабельних джгутів, обмежені за розмірами (до 1 м²) та за масою спалимої оснастки (до 190 кг з поліетилену в одній зоні), віддалені від стін, устаткування пожежними розривами з неспалимого покриття підлоги шириною не менше 0,8 м (1,3 м - якщо вони наближені до стін з емалевим покриттям), віддалені на відстань не менше 2 м "у світлі" одна від одної та від устаткування, що містить дерев'яні або поліетиленові елементи конструкцій.

9. Вогнестійкість реакторного залу

Під вогнестійкістю реакторного залу розуміють час, впродовж якого під впливом пожежі на перекриття та стіни приміщень у ньому не виникають додаткові до існуючих прорізи за рахунок обвалення елементів конструкцій та, отже, не будуть змінюватися умови газообміну осередку пожежі всередині приміщення з навколишнім середовищем, динаміка пожежі, а також не буде виникати прямий вплив на ДМ вогню від пожежі поза реакторним залом.

Основними параметрами, що визначають межу вогнестійкості залізобетонних конструкцій (час до втрати їх несучої спроможності) є:

вид бетону (важкий або легкий);

клас арматури;

тип конструкції (монолітна або вільно обперта плита, колона, балка, тощо);

розміри теплозахисту арматури (товщина захисного шару бетону до осі арматури або розтягнутих елементів ферм);

умови нагрівання (з одного або двох боків);

величина навантаження (нормативна або зменшена проти допустимого значення);

вогкість бетону;

значення температури поверхні конструкції, що обігривається.

Звичайно при об'ємних пожежах вогнестійкість реакторного залу визначається вогнестійкістю перекриттів, які виконано з монолітного залізобетону (важкий бетон з

щільністю 2300 кг/м^3 , з природною вогкістю не більше 2,5 %, що виключає його вибухоподібне руйнування при нагріванні). Нагрівання перекриттів однобічне. У гіршому випадку (об'ємна пожежа в приміщенні) воно здійснюється з боку розтягнутих елементів конструкцій, які захищені шаром бетону товщиною 50 - 70 мм. Критична температура нагрівання цих елементів $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Час до втрати несучої спроможності перекриття t_0 , с оцінюється за формулою

$$\text{ert}\left(\frac{\Delta x}{2\sqrt{at_0}}\right) = \frac{T_n - T_{\text{крп}}}{T_n - T_0}, \quad (18)$$

де $\text{ert}\left(\frac{\Delta x}{2\sqrt{at_0}}\right)$ - табульована функція інтеграла помилок; T_n - температура поверхні

перекриття з боку осередку пожежі, яку будемо вважати постійною впродовж часу $t < t_n$ та рівною $T_{\text{пмакс}}$, $^\circ\text{C}$; t_n - тривалість пожежі (до закінчення її розвинутої стадії); T_0 - початкова температура перекриття ($T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$); $T_{\text{крп}}$ - критична температура для розтягнутих елементів конструкцій перекриття ($T_{\text{крп}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$); a - температуропровідність бетону при $450 \text{ }^\circ\text{C}$ ($a = 2,83 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$); Δx - товщина захисного шару бетону, м.

Значення $T_{\text{пмакс}}$ при об'ємній пожежі досягається при $t = t_n$ та оцінюється за формулою

$$T_{\text{пмакс}} = 915 \cdot e^{5 \cdot 10^3 (q_k - 30)}. \quad (19)$$

Отримане з теплового розрахунку значення t_0 збільшують для статистично невизначених конструкцій (монолітних перекриттів) в 1,5 рази, якщо на опорах немає підсилення несучих конструкцій, або в 2,5 рази при збільшенні площини арматури на опорах удвічі. Оцінки показують, що вогнестійкість перекриттів реакторного залу може досягати 6 - 12 год, що звичайно перевищує тривалість можливих пожеж всередині цього приміщення. Ніякі зовнішні пожежі не можуть викликати впливу, що руйнує перекриття або стіни реакторного залу, але вони можуть бути причиною виникнення осередків пожежі в цьому залі за рахунок проникання вогню по кабельних каналах, через відкриті або тонкі металеві двері, інші прорізи в біологічному захисті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Азаров С.И., Токаревский В.В. Защита АЭС от пожаров // Атомная техника за рубежом. - 1992. - № 5. - С. 3 - 8.
2. Азаров С.И. Возможный сценарий возникновения, развития и последствий пожара в реакторном зале АЭС // Матеріали щорічної наук. конф. ІЯД НАН України: Зб. доп. - Київ, 1995. - С. 190 - 193.
3. Азаров С.И., Бабич Е.В. Аспекты пожарной безопасности на исследовательском ядерном реакторе ВВР-М // XV науч.-практ. конф. "Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков": Тез. докл. - М.: ВНИИПО МВД РФ, 1999. - С. 5 - 7.

АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВР-М

С. И. Азаров, Е. В. Бабич, Л. Н. Виленская, А. И. Малько

Представлены результаты исследований процессов возникновения взрывов и пожаров на исследовательском ядерном реакторе ВВР-М. Приведены данные по оценке и прогнозированию пожароопасного состояния, а также по разработке управленческих решений оперативно-техническими задачами для аварийно-спасательных служб.

