

Березовський А. І., Рудешко І.В., Дагіль В.Г.*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України**(вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18000, Україна; e-mail: andrey82-07@ukr.net)***ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПІД ЧАС ВИБОРУ ТИПУ ВОГНЕЗАХИСТУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ МАШИННИХ ЗАЛІВ АЕС**

Стаття присвячена проблемі оптимізації проектних рішень під час вибору типу вогнезахисту металевих конструкцій машинних залів АЕС, та обґрунтуванню вимог щодо вогнестійкості металевих несучих конструкцій машинних залів АЕС в умовах впливу на них вібрації в нормальному режимі роботи. В роботі проаналізовано світовий досвід пожеж у машинних залах, розглянуто вимоги сучасних вітчизняних нормативних документів і рекомендацій МАГАТЕ і методи проектування протипожежного захисту систем безпеки АЕС. Встановлено, що внаслідок складності прогнозування поведінки різних типів вогнезахисних покриттів в умовах, наближених до розвитку аварійної ситуації у машинному залі, є принципова неможливість проведення натурних великомасштабних випробувань при тепловому ударі полум'я водню. В статті пропонується комплексний підхід до моделювання умов водневої пожежі, заснований на поєднанні даних стандартних випробувань та вивченні ряду фізико-хімічних параметрів вогнезахисного покриття в умовах полум'я, температура якого перевищує 2000°C. Зроблено висновок, що найбільш прийнятними для захисту металевих конструкцій машинного залу від впливу високих температур водневого полум'я є товстошарові матеріали — штукатурка і вогнезахисна плита, які є вібростійкими. Руйнування покриття і досягнення металом критичної температури відбувається у першому випадку через 5 хв. після початку дії полум'я. При створенні повітряного зазору між плитою і пластиною межа вогнестійкості пластини становить більше 12 хв.

Ключові слова: машинні зали АЕС, режими пожежі, воднева пожежа, системи безпеки, металеві конструкції, вогнестійкість, вогнезахист, вібростійкість, вібропоглинальні властивості, вогнестійка сталь.

Вступ. Постановка проблеми. Пожежна безпека являється однією з головних складових забезпечення всієї системи безпеки атомних електростанцій. Оцінки пожежної небезпеки технологічних процесів на АЕС свідчать про те, що ймовірні пожежі на АЕС реально загрожують радіаційної і ядерної безпеці. Вони можуть виникати за умови порушення технологічного режиму, внаслідок необережного поводження з вогнем, в результаті помилок під час проектування, зведення та експлуатації. Дуже часто вони супроводжуються виникненням одночасно багатьох відмов, наслідки яких дуже важко спрогнозувати і оцінити.

Одними з найбільш вибухопожежо-небезпечних приміщень атомної станції є машинна зала. Аналіз світового досвіду із загорянь у машинних залах [8,9,10] показує, що механічне руйнування вузлів турбоагрегатів є причиною 70% пожеж. З них приблизно дві третини випадків пов'язано із турбіною, а інші – з генератором. Витік

водню з пожежею і вибухом мали місце у 18% випадків з катастрофічними наслідками і загибеллю обслуговуючого персоналу.

Згідно зі статистикою, у машинних залах АЕС і теплових електростанцій, де використовуються турбоагрегати потужністю 50 МВт і більше, за період з 1965 року зафіксовано 97 аварій, у тому числі 31 пожежа, 2 вибухи і 2 вибухи з пожежами. Результатом 22-х аварій стали обвалення покрівлі машинного залу, що становить 21% від загальної кількості аварій за цей період. У багатьох випадках внаслідок пожежі було повністю втрачено контроль і керування реактором і технологічним процесом.

В наш час розроблено багато методів аналізу пожежної небезпеки приміщень різного призначення, існують методики оцінювання впливу можливої пожежі на ядерну і радіаційну безпеку енергоблоку, розроблено нормативну базу проектування

протипожежного захисту АЕС. Але, комплексної методики, яка могла б дозволити проектувальнику розробити систему пожежної безпеки АЕС, як єдину систему заходів, що забезпечують виконання загальних критеріїв безпеки АЕС при пожежі, на жаль, не існує. Розробка такої методики дозволить проектувальнику приймати ефективні рішення, що виключають або мінімізують ризик аварій, що пов'язані з пожежею у приміщеннях систем безпеки на АЕС [6].

Ця проблема набуває актуальності у зв'язку із зростаючою складністю технічного оснащення і зростаючою потужністю атомних електростанцій. Особливого значення проблема забезпечення пожежної безпеки АЕС набула після катастрофи у Чорнобилі. Але, пройшло понад 30 років, які знадобилися для розробки і реалізації вимог, щодо обґрунтування протипожежного захисту АЕС на достатньому рівні, у тому числі і розрахунково-аналітичними методами.

Удосконалення протипожежного захисту систем безпеки нових АЕС передбачається проводити за рахунок удосконалення пасивних методів захисту, які мають забезпечити локалізацію пожежі у приміщенні, де вона виникла, до повної її ліквідації. Для найбільш пожежонебезпечних приміщень принцип локалізації пожежі поєднується із використанням активних систем пожежогасіння. При цьому роль установок пожежогасіння у забезпеченні ядерної і радіаційної безпеки має суттєві обмеження у зв'язку із вимогами норм, щодо необхідності забезпечення безпеки із врахуванням відмов у системах АЕС.

За сучасних умов у будівництві дуже широко використовуються різноманітні будівельні конструкції з різними властивостями та характеристиками. Основними з них є металеві конструкції, які при впливі на них високої температури під час пожежі дуже швидко втрачають свою несучу здатність, і тому потребують вогнезахисту.

Вирішенням задач створення вогнезахисних покриттів займалися багато вчених і фахівців: Беліков А.С., Гивлюд М.М., Жартовський В.М., Качкар Є.В., Круковский

П.Г., Крутов А.М., Маладика І.Г., Новак С.В., Поздєєв С.В., Страхов В.Л., Цвіркун С.В., Шликов М.Ю., Яковлева Р.А., та ін.

Проаналізувавши роботи вчених та характеристики вогнезахисних покриттів можна зробити висновки, що всі існуючі на сьогодні покриття розраховано для вогнезахисту металевих конструкцій, на які не впливає вібрація та деформація. У той же час при вібрації та зміні навантажень до конструкцій, що примушують їх частково змінювати свою форму, структура захисного покриття може повністю або частково ламатися, тріскатися і покриття обсіпається з поверхні, внаслідок чого конструкції стають незахищеними від впливу високих температур.

Будівель, де використовуються подібні конструкції і де можуть бути вказані умови, достатньо велика кількість. До них належать машинні зали електростанцій, АЕС, будівлі та споруди залізниці, будівлі насосних станцій, трансформаторні підстанції, будівлі газової та хімічної промисловості. На підприємствах підвищений рівень вібрацій будівельних конструкцій можуть створювати дробарки, усадочні машини, центрифуги, вентилятори, димососи, повітрорудувки. Тобто, існує значна кількість конструкцій, які піддаються вищевказаному впливу [1].

З кожним днем зростає кількість матеріалів, які використовують у будівництві будівель і споруд різного призначення. Метал був і залишається одним з найбільш поширених будівельних матеріалів, але він має такий істотний недолік, як порівняно мала межа вогнестійкості. Відповідно металеві конструкції необхідно захищати від впливу високих температур. У наших попередніх публікаціях ми аргументували необхідність захисту металевих конструкцій і виробів не тільки від впливу високих температур, але і від вібраційного впливу на поверхню, що захищається.

Металеві конструкції на теперішній час є найбільш розповсюдженими. І саме вони використовуються для влаштування покриття машинних залів.

У 2005 році практично на всіх АЕС України було виконано вогнезахист ферм

покриття машинних залів, який забезпечує їх межу вогнестійкості R45 (теоретично).

Використані покриття сповільнюють динаміку прогрівання металу до критичної температури. Вони проходили випробування за умови стандартної пожежі, температурний режим якої не перевищує 1000⁰C упродовж 60 хвилин від початку дії вогню, що значно нижче за температуру водневого факелу (2000⁰C), див. рис. 1. Крім цього в машинній залі постійно присутня сильна вібрація, що спричинена роботою генератора і турбіни, і яка негативно впливає на стан вогнезахисного покриття.

Всі сучасні основні засоби вогнезахисту металоконструкцій забезпечують максимальні межі вогнестійкості, в умовах сертифікованих випробувань під впливом стандартної пожежі, режим котрої суттєво відрізняється від водневої (рис. 1) і без впливу вібраційних навантажень.

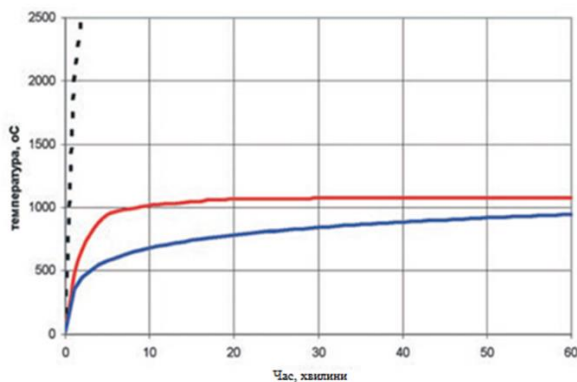


Рис. 1. Динаміка середньо об'ємної температури у вогневій камері за умови стандартної (синя лінія), вуглеводневої (червона лінія) пожежі і при вибуху водня (пунктир) – розраховані дані.

Таким чином, на сьогодні не існує вогнезахисного покриття для металевих конструкцій машинних залів АЕС, яке відповідає умовам роботи під впливом значних вібраційних навантажень і за умов впливу водневої пожежі. Це значно ускладнює процес обґрунтування і оптимізації рішень, які сприяють мінімізації ризику аварій, що пов'язані із пожежею.

Мета дослідження. Забезпечення пожежної безпеки нових АЕС являє собою актуальну задачу, вирішувати яку потрібно на основі сучасних підходів із врахуванням

практики проектування і будівництва. Метою дослідження є оптимізація основних проектних рішень по забезпеченню протипожежного захисту машинних залів АЕС, обґрунтування вимог щодо вогнестійкості металевих несучих конструкцій машинних залів АЕС в умовах впливу на них вібрації в нормальному режимі роботи.

Основна частина. Головний міжнародний документ по забезпеченню безпеки атомних станцій під час пожежі є Руководство МАГАТЕ з безпеки № 50-SG-D2, [12,13], першу редакцію котрого було розроблено у 1980 році, а останню офіційну редакцію було видано російською мовою у 1998 році. Не зважаючи на те, що положення документу носять рекомендаційний характер, у більшості країн вони являються основою для розробки національних стандартів і правил.

Вивчення протипожежного захисту діючих АЕС дозволяє стверджувати, що проектні рішення АЕС, що були зведені до початку 80-х років адекватні проектним рішенням теплових електростанцій. Наслідок цього: недостатні межі вогнестійкості несучих конструкцій і протипожежних перешкод, конструкцій заповнення пройм, кабельних, вентиляційних і трубопровідних проходок. А це, у свою чергу, не забезпечує фізичного розділення основних і резервних систем безпеки під час пожежі. Крім цього, для протипожежного захисту енергоблоків використовувалися системи і засоби загальнопромислового призначення без врахування специфічних особливостей атомних станцій, що не гарантувало працездатності систем протипожежного захисту в умовах екстремальних зовнішніх впливів (землетрусів, ураганів, повеней тощо).

Усі недоліки, що пов'язані із таким підходом щодо проектування протипожежного захисту енергоблоків проявилися під час пожеж на АЕС того часу. Тому, у 1987 році були розроблені і введені у дію «Протипожежні норми проектування атомних станцій», ВСН 01-87. Згідно цього документу до систем виявлення, обмеження, локалізації і ліквідації пожежі висуваються вимоги, як до забезпечуючих систем без-

пеки. А це передбачає високу ступінь їх надійності і необхідність резервування засобів виявлення і гасіння пожежі систем безпеки, що захищають приміщення.

У нових АЕС резервування каналів систем безпеки збільшено до 4-х, тому стає очевидними надмірність, складність і висока вартість систем пожежогасіння, що вимагає ВСН 01-87. При цьому, згідно ВСН 01-87 межі вогнестійкості для огорожуваних конструкцій приміщень систем безпеки мають бути не нижче за 90 хвилин.

Удосконалення протипожежного захисту (ППЗ) систем безпеки нових АЕС відбувається шляхом розвитку пасивних способів захисту. Для найбільш пожежонебезпечних приміщень принцип локалізації пожежі поєднується із використанням активних систем пожежогасіння. При цьому, згідно із вимогами норм, роль використання установок пожежогасіння у забезпеченні ядерної і радіаційної безпеки має суттєві обмеження, внаслідок необхідності забезпечення безпеки із врахуванням відмов у системах АЕС.

Одним з найбільш пожежо- і вибухонебезпечних вузлів АЕС є машинні зали, де в мастильних системах турбоагрегатів використовуються горючі мастила, а в системі охолодження турбогенераторів — горючий і вибухонебезпечний водень.

Треба сказати, що проблема пошуку оптимальних рішень підвищення вогнестійкості ферм, перекриття та несучих конструкцій машинних залів українських АЕС має свою історію. У 1993 році за замовленням Держкоматому України ВНІІПО МВД Росії було виконано науково дослідну роботу за темою «Пропозиції щодо захисту несучих конструкцій машинних залів від впливу небезпечних факторів пожежі» [4]. Отримані в результаті цієї роботи розрахунки та створена модель пожежі показують, що при руйнуванні ущільнення генератору палаюча суміш водню і мастила досягає металевих ферм з нагріванням їх до 500°C протягом 25-30 с, а температура в ядрі палаючого водневого факела становить 2000°C.

Необхідно особливо підкреслити, що при виникненні пожежі в машинному залі

важлива кожна хвилина збереження несучої здатності будівельних конструкцій. Це пов'язано, насамперед, зі строго регламентованою дією автоматичних систем управління та обслуговуючого персоналу в разі пожежі [11]. Моніторинг аварійних ситуацій у машинних залах АЕС показує, що при значній розгерметизації генератору мінімальний час від виявлення витoku водню до відключення генератору від електропостачання становить 2-7 хв. Час автоматичного відключення трубопроводів досягає 2 хв., а ручного відключення — 5 хв. При збоях у роботі сигналізації та захисту, а також при затриманні персоналу з прийняттям заходів цей час може збільшуватися.

Отже, одним з головних умов зниження необоротних наслідків пожежі у машинному залі є збереження несучої здатності конструкцій хоча б протягом 2-5 хв. — часу, необхідного для виявлення пожежі та приведення до дії передбачених установок та протипожежних засобів. Тому, необхідність підвищення межі вогнестійкості будівельних конструкцій шляхом обробки засобами вогнезахисту очевидна, а правильність технічних рішень вогнезахисної обробки в цьому випадку важко переоцінити.

Таким чином, вогнезахисне покриття металевих конструкцій машинних залів має бути вібростійким і забезпечити їх вогнестійкість за умов водневої пожежі.

Для отримання ефективного вібропоглинаючого матеріалу необхідно створити такі засоби, які б володіли в необхідному температурному і частотному діапазоні максимальними значеннями тангенса кута механічних втрат $\text{tg}\delta$ або модуля механічних втрат G'' , що є мірою розсіювання енергії відповідно. Максимальні значення $\text{tg}\delta$ спостерігаються в області головного релаксаційного переходу, тобто в області переходу із склоподібного у високоеластичний стан, де частота координованого руху сегментів ланцюгів полімеру (10-50 атомів вуглецю) має ту ж величину, що і частота механічного впливу. Температура переходу зі склоподібного стану у високоеластичний, яка називається температурою склування T_s , залежить від часу. За-

звичай в динамічному експерименті зростання частоти в 10 разів супроводжується зростанням T_c на 3-7 °С [1].

Вібростійкість покриття забезпечується його вібропоглинальними властивостями. Тому було проведено дослідження впливу модифікуючих епоксидних полімерів на динамічні механічні і вібростійкі властивості вогнезахисного вібростійкого покриття. Діапазон, в якому найбільш доцільно проводити вивчення вібропоглинальних властивостей полімерів з точки зору мінімізації впливу зовнішніх механічних впливів на зміну структури полімеру в процесі експерименту і відповідно на коректність отриманих даних, лежить в області ультранизких частот 10^{-3} – 10^1 Гц. У зв'язку з цим частота затухаючих крутильних коливань маятника в експериментах становила 0,7 – 1 Гц в температурному інтервалі від -100 °С до + 100 °С.

Таким чином, в експерименті динамічної механічної спектроскопії зразок піддається циклічному навантаженню, при цьому можна визначити фундаментальні параметри – динамічний модуль зсуву G' , модуль втрат G'' і тангенс кута механічних втрат $tg\delta$, що є мірою зберігаємої і розсіяваної енергії відповідно. Похибка вимірювання для динамічного модуля зсуву не перевищувала 5%, а для тангенса кута механічних втрат – 10%. Для отримання ефекти-

вного вібропоглинального матеріалу необхідно створити такі покриття, які мали б у необхідному температурному і частотному діапазоні максимальні значення тангенса кута механічних втрат $tg\delta$ або модуля механічних втрат G'' . Максимальні значення спостерігаються в області головного релаксаційного переходу, тобто в області переходу зі склоподібного у високоеластичний стан. Температура переходу зі склоподібного стану у високоеластичний, яка називається температурою склування T_c , залежить від часу: чим швидше виконується випробування, тим вона вища, оскільки полімерному тілу стає важче реагувати на вплив. Науково-технічну задачу створення ефективних вогнезахисних вібростійких матеріалів на основі епоксиолімерів вирішували шляхом використання реакційно-здатних олігомерів та антипіренів. Відомо, що вібропоглинальні характеристики полімерів зумовлені їх хімічною природою, будовою полімерного ланцюга і міжмолекулярною взаємодією між ними. Тому високу вібропоглинальну здатність мають полімери, що поєднують гнучкість полімерного ланцюга і високі значення міжмолекулярної взаємодії.

Результати дослідження впливу співвідношення Л-803 і різних епоксидів на структурні параметри отверджених композицій надані у табл.1.

Таблиця 1 - Значення середньої молекулярної маси відрізків макромолекул між вузлами сітки (M_c), модуля високо еластичності $E_{вс}$ та ефективної щільності зшивання (n_c) для композицій

Співвідношення епоксидного олігомеру в суміші з Лапролат- 803, мас.%	Густина, кг/м ³	$E_{вс}$, МПа	M_c , г/моль	n_c , моль/г
Л-803 (100)	1149/1174	2,5/3,1	1780/1455	0,67/0,82
Т-111 (100)	1150	12,2	456	2,50
ЕД-20 (100)	1180	10,5	470	2,45
ЕД-20:Л-803 10:90	1224/1250	3,37/3,49	1321/1329	0,9/0,94
20:80	1210/1212	3,5/3,71	1272/1000	0,94/1,21
30:70	1208/1223	4,5/4,9	989/926	1,21/1,32
Т-111:Л-803 10:90	1189/1201	3,0	1481/1178	0,81/1,0
20:80	1252/1252	3,08	1445/982	0,83/1,27
30:70	1165/1165	3,47	1283/766	0,93/1,52

Примітка: до косої риски – холодне твердіння; після риски – при термообробці.

Результати дослідження динамічних механічних властивостей сітчастих епоксиуретанових композицій наведені на

рис.2, де представлені температурні залежності тангенса кута механічних втрат ($tg\delta$) і динамічного модуля зсуву (G') в залежності

від співвідношення компонентів. З рис. 2 видно, що температурні залежності G' і $tg\delta$ для всіх композицій мають приблизно однаковий вигляд. На кривих вищевказаних залежностей можна виділити три області. Перша область – це область низьких температур, де спостерігається порівняно повільний і плавний спад модуля зсуву і плавний ріст тангенса кута механічних втрат. У цій області полімери знаходяться в склоподібному стані. При подальшому підвищенні температури спостерігається друга область, де відзначається різке зменшення модуля зсуву G' і зростання $tg\delta$. Максимальне значення $tg\delta$ у цій температурній області відповідає температурі механічного склування T_c . Третя область високоеластичного стану (плато високоеластичності) характеризується практично постійним і низьким значенням модуля зсуву. Аналіз даних, представлених на рис.1, показує, що в низькотемпературній області (від -100 до -80 °C), де полімери знаходяться в склоподібному стані, з підвищенням вмісту ЕД-20 в суміші з Л-803 динамічний модуль пружності монотонно зростає. Таким чином, за наявності антипірену ПФА помітно змінюються динамічні механічні властивості полімерів у залежності від хімічної будови модифікуючих епоксидів в суміші з Л-803.

Таблиця 2 - Вібропоглинаючі властивості композицій при різному вмісті полімерів в суміші з Л-803 і наповнених ПФА

Вміст олігомеру в суміші з Л-803, мас.% і ПФА мас. ч. на 100 мас. ч суміші	G' (склоподібний стан), ГПа	Температура склування, (T_c), °C	$tg\delta_{max}$	G' при $tg\delta_{max}$, ГПа	G'' при $tg\delta_{max}$, ГПа	Інтервал розсклування, град	
ЕД-20	10	8,5	-40	0,6	3,0	1,8	54
	20	9,2	-45	0,97	3,4	3,3	60
	30	9,7	-34	0,76	2,4	1,8	40
	20+25ПФА	11,0	-42	0,8	2,6	2,1	56
Т-111	10	9,6	-42	0,76	0,75	0,56	36
	20	9,7	-45	0,74	2,0	1,48	50
	30	11,8	-38	0,88	2,3	2,0	38
	20+25ПФА	9,8	-35	0,8	2,7	2,16	56
УП-655	20	8,3	-38	0,98	3,2	3,14	46
	20+25ПФА	10,6	-30	0,65	2,4	1,56	36

Виходячи з результатів проведених досліджень, можна зазначити, що найбільші значення $tg\delta = 0,45-0,47$ у високоелас-

тичному стані спостерігаються для наповнених антипіреном матеріалів на основі суміші ЕД-20:Л-803 і, з практичної точки зору, цей склад може бути використаний в

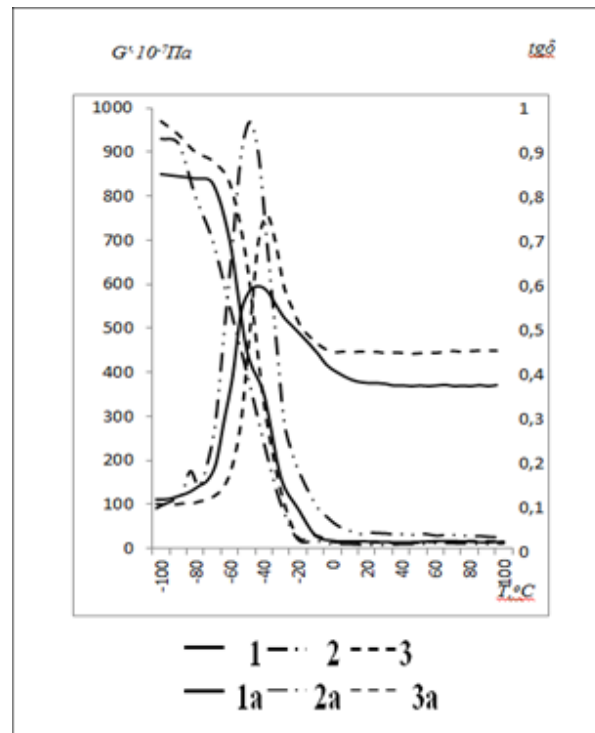


Рис. 2. Температурні залежності G' (1-3) і $tg\delta$ (1a-3a): ЕД-20:Л-803 = 10:90 (1, 1a); 20:80 (2, 2a) і 30:70 мас.% (3, 3a)

тичному стані спостерігаються для наповнених антипіреном матеріалів на основі суміші ЕД-20:Л-803 і, з практичної точки зору, цей склад може бути використаний в

якості основи для вібростійких матеріалів, працездатних при температурі від -20 до $+60^{\circ}\text{C}$. [2].

Що стосується умов водневої пожежі. Внаслідок складності прогнозування поведінки різних типів вогнезахисних покриттів в умовах, наближених до розвитку аварійної ситуації у машинному залі, є принципова **неможливість проведення натурних великомасштабних випробувань при тепловому ударі полум'я водню**. Однак, можливий комплексний підхід до моделювання умов водневої пожежі, заснований на поєднанні даних стандартних випробувань та вивченні ряду фізико-хімічних параметрів вогнезахисного покриття в умовах полум'я, температура якого перевищує 2000°C . Таку температуру забезпечує ацетилен-кисневий пальник (за даними технічної документації температура полум'я складає 2350°C) [21].

Для визначення поведінки вогнезахисних покриттів в умовах максимально наближених до водневої пожежі, Регіональним випробувальним центром «Донстройтест» м. Донецьк було проведено ряд випробувань покриттів виробництва НПП «Спецматериали» в умовах дії на них полум'я інжекторного ацетилен-кисневого пальника Airak M16x1 R3/8 L3.4991. За технічною документацією виробника температура полум'я пальника складає 2350°C [15, 20].

За результатами випробувань [19] підвищення межі вогнестійкості захищеної подвійним захистом №6 (Плита вогнезахисна «Ендотерм 210104» - зовнішній шар 20мм, покриття вогнезахисне «Ендотерм ХТ-150» - внутрішній шар, 2мм) металевої пластини може здійснюватися у двох граничних режимах аварійної ситуації. За сценарієм «вибух – пожежа» вогнезахисні плити при руйнуванні знижують динамічне і теплове навантаження на покриття «Ендотерм ХТ-150», яке зберігає свою вогнезахисну ефективність протягом 2 хв. У разі розвитку в машинній залі водневої пожежі вогнезахисні плити повністю прогорають протягом 12 хв., а за цей час в просторі повітряного прошарку під впливом високих

температур формується щільний теплоізоляційний шар покриття «Ендотерм ХТ-150», який додає ще 2 хв. до досягнення критичної температури пластини (500°C). Таким чином за умови використання подібного вогнезахисту для металевих конструкцій машинних залів, у разі виникнення аварійної ситуації, пов'язаної із водневою пожежею, матиме достатньо часу для приведення в дію передбачених систем пожежогасіння.

Отримані результати слід сприймати як інформацію про поведінку вогнезахисних складів при впливі на них полум'я ацетилен-кисневого пальника, який створює температурний режим, схожий за температурним режимом горіння водню і воднево-мастильної суміші. Значення меж вогнестійкості, що було отримано у цих умовах, є відносними величинами, що дозволяють зробити попередню оцінку вогнезахисної ефективності засобів вогнезахисту, представлених на ринку України. Однак, отримані результати можна використати під час пошуку оптимальних рішень ефективного вогнезахисту несучих металевих конструкцій машинних залів АЕС.

Збільшити вогнестійкість і підвищити ефективність вогнезахисту можна за допомогою використання в якості матеріалу для металевих конструкцій вогнестійкої сталі марки 06МБФ, із показником вогнестійкості R45 без вогнезахисту [3].

Висновки:

1. Необхідність підвищення ефективності боротьби із пожежею визначила актуальність розробки способів і методів обґрунтування протипожежного захисту нових АЕС.
2. Розглянуто вимоги сучасних вітчизняних нормативних документів і рекомендацій МАГАТЕ і методи проектування протипожежного захисту систем безпеки АЕС.
3. Для оптимізації проектних рішень по забезпеченню пожежної безпеки потрібно, насамперед, враховувати можливість впливу пожежі на персонал, технологічне обладнання, що важливе для безпеки і вогнестійкості будівельні конструкції.

4. Удосконалення протипожежного захисту систем безпеки нових АЕС потрібно проводити шляхом розвитку пасивних способів захисту.
5. Найбільш вибухопожежонебезпечними приміщеннями на атомних станціях є машинні зали.
6. Єдиною можливою системою охолодження турбогенераторів великої потужності є воднева система. Застосування цієї системи пов'язано з необхідністю створення спеціальної мастильної системи – для подачі мастила до ущільнень турбогенератору, що запобігає витoku водню з корпусу через ущільнення валу, але в той же час у значній мірі підвищує ступінь пожежної небезпеки в турбінному відділенні.
7. Руїнування турбіни призводить до витoku величезної кількості мастила, супроводжується викидом водню і виникненням пожежі, яка за класифікаційними параметрами відноситься до найвищої категорії вибухопожежної та пожежної небезпеки.
8. При значній розгерметизації генератору найменший час від виявлення витoku водню до відключення генератору складає 2-7 хвилини. Час автоматичного відключення трубопроводів складає 2 хвилини, а ручного – 5 хвилин. Але цей час може бути збільшеним за іншими причинами.
9. Використання лафетних стволів для охолодження поверхні ферм передбачає присутність людини, що має суттєві недоліки.
10. Використання пожежних роботів і РПК дає можливість гасіння пожежі в умовах повного задимлення і низької видимості, що характерно для пожеж у турбінних залах. Але використання РПК за умов наявності радіації ускладнено, що показує досвід аварії на ЧАЕС.
11. Одним з головних умов зниження незворотних наслідків пожежі у машинному залі є збереження несучої здатності конструкцій хоча б протягом 2-5 хв. – часу, необхідного для виявлення по-

жежі та приведення до дії передбачених установок та протиаварійних засобів.

12. Правильний вибір вогнезахисного покриття металевих конструкцій для підвищення їх межі вогнестійкості – є єдиним способом виграти 2-5 хвилин часу для спрацювання передбачених систем пожежогасіння.
13. Найбільш прийнятними для захисту металевих конструкцій машинного залу від впливу високих температур водневого полум'я є товстошарові матеріали – штукатурка і вогнезахисна плита. Руїнування покриття і досягнення металом критичної температури відбувається у першому випадку через 5 хв. після початку дії полум'я. При створенні повітряного зазору між плитою і пластиною межа вогнестійкості пластини становить більше 12 хв.
14. Вогнезахист металевих конструкцій машинних залів потрібно проводити матеріалами, що мають стійкість щодо вібрації.

Експериментальні дослідження вібропоглинальних властивостей вогнезахисних вібростійких покриттів показали, що найбільші значення $\text{tg}\delta = 0,45-0,47$ у високоеластичному стані спостерігаються для наповнених антипіреном матеріалах на основі суміші ЕД-20:Л-803; з практичної точки зору цей склад може бути використаний як основа для вібропоглинаючих матеріалів, які можуть використовуватись як при знижених ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), так і помірних температурах ($+60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Такі покриття доцільно застосовувати для вогнезахисту металевих конструкцій машинних залів АЕС, на які впливає вібрація та динамічні навантаження.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Березовський А. І. Захист металевих конструкцій від впливу високих температур вогнезахисними покриттями, що спучуються / А. І. Березовський, І. Г. Маладика, Р. А. Яковлева // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. праць. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – № 2. – С. 127–131.

2. Дослідження динамічних механічних і вібропоглинаючих властивостей епоксиретанових складів для вогневіброзахисту металевих виробів / А. І. Березовський, І. Г. Маладика, В. В. Зайвий [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2012. – № 10. – С. 18–27.
3. Особливості хімічного складу і механічних властивостей вогнестійких сталей / І. В. Рудешко, Ю.А. Отрош В. В. Золотарьов // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2013. – № 13. – С. 116–122.
4. Разработка предложений по защите несущих конструкций машзалов АЭС от воздействия опасных факторов пожара: Отчет / ВНИИПО МВД РФ; Договор от 13.11.1992 № 553. — М., 1993.
5. Актуальність забезпечення безпеки об'єктів будівництва / Дагиль В. Г., Отрош Ю.А. // Науковий вісник будівництва ХНУБА, Харків. - №67, 2012. - С.48-56.
6. Лобанова Н. А. Противопожарная защита систем безопасности новых АЭС: дис. к.т.н. / Лобанова Н.А. - М., 2005. – 205с.
7. Микеев А.К. Противопожарная защита АЭС. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Ключников А.А., Кучинский К.А., Федоренко Г.М. Термомеханическое состояние элементов стержня обмотки статора турбогенератора типа ТВВ-1000 при снижении расхода охладителя // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2009. – Вип.12. – С.73-86.
9. Гальбурт В.А., Иванов М.Ф., Минеев В.Н., Фортов В.Е., Фунтиков А.И. Воздействие взрыва водорода на защитную оболочку реакторного зала АЭС // Математическое моделирование. – 2002. – Т.14. – №1. – С.73-86.
10. Пахомов С.А., Дубасов Ю.В. Оценка величины мгновенного энерговыделения при аварии реактора на ЧАЭС // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина. – 2009. – Т. XIV. – С. 79-86.
11. Солдатов Г.Е., Голоднова О.С. О путях снижения риска пожаров в машинных залах АЭС // Атомкон. – 2009. - №2 (3). – С.42-46.
12. Руководство МАГАТЭ по безопасности № 50-SG-D2. Противопожарная защита на атомных электростанциях. МАГАТЭ, Вена, 1991.
13. 50-P-9 Руководство МАГАТЭ. Практика обеспечения безопасности. Evaluation of fire hazard analyses for nuclear power plants. МАГАТЭ, Вена, 1995.
14. Разработка предложений по защите несущих конструкций машзалов АЭС от воздействия опасных факторов пожара: Отчет/ ОАО «ВНИИАЭС». – М., 2008. – 89с.
15. Вахитова Л.Н., Чеповский В.О. Некоторые аспекты огнезащиты металлоконструкций машзалов АЭС. // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://security-info.com.ua/>.
16. НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій», затверджені наказом Держатомрегулювання від 19.11.2007 № 162 (zareєстровані Мін'юстом 25.01.2008 за № 56/14747).
17. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
18. ВПБ В.1.1-034-03.307-2003 Протипожежні норми проектування атомних електростанцій з водо-водяними енергетичними реакторами.
19. Научные статьи, обзоры. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.endo-term.com.ua/>.
20. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.belkrafting.by/info=86&cat=1/
21. Независимый украинский журнал F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://security-info.com.ua/>

Березовский А.И., Рудешко И.В., Дагиль В.Г. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТИПА ОГНЕЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МАШИННЫХ ЗАЛОВ АЭС. Статья посвящена проблеме оптимизации проектных решений при выборе типа огнезащиты металлических конструкций машинных залов АЭС, и обоснованию требований по огнестойкости металлических несущих конструкций машинных залов АЭС в условиях воздействия на них вибрации при нормальном режиме работы.

Ключевые слова: машинные залы АЭС, режимы пожара, водородный пожар, системы безопасности, металлические конструкции, огнестойкость, огнезащита, виброустойчивость, вибропоглощающие свойства, огнестойкая сталь.

Berezovskiy A., Rudeshko I., Dagil V. OPTIMIZATION OF DESIGN DECISIONS WHEN CHOOSING THE TYPE OF FIRE PROTECTION OF METAL STRUCTURES OF ENGINE ROOMS OF NUCLEAR POWER STATION. The article is devoted to the problem of op-

timization of DESIGN DECISIONS when choosing the type of fire protection of metal structures of the machine rooms of the nuclear power station, and grounding requirements for fire resistance of metal bearing structures of the nuclear power station's engine rooms under the conditions of vibration influence on them in normal operation.

Keywords: machine rooms of nuclear power station, fire regimes, hydrogen fire, safety systems, metal structures, fire resistance, fire protection, vibration resistance, vibration absorbing properties, fire resistant steel.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-284-288

УДК 69.01

Гольтерова Т.А., Обухова Н.В.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: golterova@ukr.net)*

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЕКОНОМІКИ ПРОЕКТНО-БУДІВЕЛЬНИХ РІШЕНЬ

Відсутність в навчальних планах майбутніх архітекторів дисциплін з економіки проектних рішень та економіки містобудування спонукало авторів статті проаналізувати проблему та звернути увагу на окремі питання економіки проектно-будівельних рішень.

Ключові слова: економіка проектних рішень; економіка містобудування; архітектор; проектно-будівельні рішення; вимоги до об'єктів будівництва; техніко-економічні показники; об'ємно-планувальні рішення; конструктивні рішення; технологія та організація будівельних робіт; ефективність проектних рішень.

Якість підготовки майбутніх архітекторів визначається набутими в процесі навчання професійними компетенціями.

Відповідно до Довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників (ДКХПП) *архітектор* повинен знати: методи проектування та виконання техніко-економічних розрахунків; технічні, художні, економічні, екологічні, соціальні та інші вимоги до об'єктів; специфіку регіональних і місцевих природних, економічних, екологічних, соціальних та інших умов реалізації містобудівних та архітектурних рішень; види і властивості будівельних матеріалів і конструкцій; передовий вітчизняний та зарубіжний досвід з проектування та будівництва; постанови, розпорядження та накази, методичні, нормативні та інші керівні матеріали з проектування, будівництва та експлуатації об'єктів; стандарти з оформлення проектно-кошторисної документації; технологію будівництва; технічні засоби проектування та будівництва; правила і норми охорони праці, виробничої санітарії та протипожежного захисту [1].

Практика аналізу проектної документації для будівництва свідчить, що поліпшення проектних рішень сприяє підвищенню організаційно-технічного рівня будівельного виробництва, скороченню термінів, зниженню вартості будівництва й підвищенню на цій основі ефективності будівельних проектів.

Проектувальник при розробці проектної документації несе відповідальність і забезпечує відповідність об'єктів будівництва наступним основним вимогам:

- функціональним, виконання яких повинно забезпечити найкращі умови для організації експлуатації об'єкта;

- технічним – передбачає забезпечення достатніх характеристик міцності, стійкості, ізолюючої здатності, довговічності, вогнестійкості будівлі в цілому і окремих її елементів;

- економічним, передбачає оптимізацію витрат на всіх етапах інвестиційного циклу, поліпшення соціальних умов учасників, отримання запланованого прибутку інвестором;