



**Міністерство надзвичайних ситуацій України**

**Академія пожежної безпеки  
імені Героїв Чорнобиля**

*№7'2011*

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:  
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***

---

*Збірник наукових праць*

**ББК 38.96**

**П 46**

**П 46 Пожежна безпека: теорія і практика : збірник наукових праць. –  
Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – № 7. – 214 с.**

***Редакційна колегія:***

к.психол.н., професор *Кришталь М.А.* – головний редактор  
д.т.н., професор *Осипенко В.І.* – заступник головного редактора  
д.ф.-м.н., професор *Акіншин В.Д.* – науковий редактор  
к.т.н., доцент *Поздєєв С.В.* – заступник наукового редактора  
к.т.н. *Качкар Є.В.* – відповідальний секретар  
д.т.н., професор *Ващенко В.А.*  
д.психол.н, професор *Грибенюк Г.С.*  
д.т.н., професор *Жартовський В.М.*  
д.т.н., професор *Круковський П.Г.*  
д.військ.н., професор *Мосов С.П.*  
д.психол.н, професор *Охременко О.Р.*  
к.т.н, доцент *Баракін О.Г.*  
к.психол.н., доцент *Бут В.П.*  
к.психол.н., доцент *Вареник В.В.*  
к.ф.-м.н., доцент *Виноградов А.Г.*  
к.т.н., доцент *Григор'ян Б.Б.*  
к.т.н., доцент *Зайка П.І.*  
к.т.н., доцент *Кириченко О.В.*  
к.т.н., доцент *Левченко А.Д.*  
к.т.н., доцент *Маладика І.Г.*  
к.т.н., доцент *Стась С.В.*  
к.психол.н., доцент *Теслюк П.В.*  
к.т.н., доцент *Тищенко О.М.*  
к.т.н. *Цвіркун С.В.*

***Рекомендовано до видання  
Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
(Протокол № 7 від 20.05.11 р.)***

***Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 17574-6424 ПР, видане Міністерством юстиції України 21.03.11 р.***

***Включено ВАК до переліку фахових видань в галузі технічних наук, в яких можуть  
публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора  
і кандидата наук (Постанова ВАК від 27 травня 2009 року № 1-05/2)***

За точність наведених фактів, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів.  
При передрукуванні посилання на збірник «Пожежна безпека: теорія і практика» обов'язкове.

## ЗМІСТ

<i>Абрамов Ю.А., Безуглов О.Е., Гвоздь В.М.</i> Определение постоянной времени чувствительного элемента тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях .....	6
<i>Андрієнко М.В., Тищенко О.М., Тищенко Є.О.</i> Визначення основних параметрів аварійного витікання і горіння вуглеводнів.....	12
<i>Березовский А.И., Маладыка И.Г., Саенко Н.В., Быков Р.А., Бруев Н.А.</i> Оценка термоокислительной деструкции и горючести реакционноспособных олигомеров .....	16
<i>Быков В.І., Цікановський В.Л.</i> Експериментальний стенд для дослідження вхідного імпедансу верхніх кінцівок оператора під час застосування імпульсних вогнегасників .....	21
<i>Ващенко В.А., Заика П.И., Кириченко О.В., Щепак С.В., Блащук А.Д.</i> Исследование интенсивности диспергирования частиц магния в зону пламени при горении нитратно-магниевых систем .....	27
<i>Виноградов А.Г.</i> Розрахунок траєкторій водяних крапель з урахуванням реальної залежності аеродинамічного коефіцієнта.....	30
<i>Григор'ян Б.Б., Цвіркун С.В., Григор'ян М.Б.</i> Визначення теплофізичних характеристик та вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття «Ендотерм 210104».....	39
<i>Дядюшенко О.О., Томенко В.І., Міненко О.В.</i> Модель первинної обробки даних за фактом пожежі .....	46
<i>Качкар Е.В. Григорьян Б.Б., Быченко С.Н., Грицина И.Н., Куприенко Ю.А.</i> Идентифицируемость параметров модели теплового состояния сендвич-панелей с минераловатными плитами .....	53
<i>Кириченко О.В.</i> Термодинамічні методи прогнозування пожежонебезпечних властивостей піротехнічних нітратно-магнієвих сумішей.....	59
<i>Ковалишин В.В., Дмитровський С.Ю., Кирилів Я.Б., Хлевной О.В.</i> Вдосконалення методів випробувань будівельних конструкцій на атомних електростанціях .....	67
<i>Копистинський Ю.О., Баланюк В.М., Лавренюк О.І.</i> Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолевій речовині .....	72
<i>Левченко А.Д., Джулай О.М., Левченко Д.Є., Землянський О.М.</i> Удосконалення методу газового аналізу для виявлення залишків отруйних та пожежовибухонебезпечних речовин під час встановлення причин виникнення пожеж та надзвичайних ситуацій.....	79
<i>Лега А.Л.</i> Моделювання процесу газообміну в приміщенні при розслідуванні пожеж з метою визначення причин їх виникнення.....	83
<i>Мамаєв В.В.</i> Оцінка ризику пожежі на підземних об'єктах вугільних шахт.....	89
<i>Мартин О.М.</i> Економічна ефективність протипожежних заходів: її суть та обчислення .....	96
<i>Мельник В.П.</i> Використання обернених моделей САУ для визначення відхилення виконавчих органів систем пожежної безпеки .....	100
<i>Мельник О.Г., Рудницький В.М., Мельник Р.П., Томенко В.І.</i> Добовий моніторинг навантаження електромережі у житлових будинках.....	106
<i>Моргун О.М., Марченко А.П.</i> Модифікація методу найменших квадратів для задач прогнозування .....	111
<i>Мосов С.П., Дендаренко Ю.Ю., Щербина В.С.</i> Обґрунтування доцільності комплексного підходу до оцінювання та прогнозування рівня пожежної безпеки об'єктів адміністративно-господарського призначення .....	116
<i>Поздеев А.В., Осипенко В.И., Гвоздь В.М., Сташенко С.И., Нуянзин В.М.</i> Влияние модифицирующих добавок в бетоны на обеспечение огнестойкости железобетонных строительных конструкций .....	123
<i>Поздеев С.В.</i> Экспериментально-расчетный метод определения упруго-пластических свойств арматурной стали в условиях нагрева при пожаре.....	130
<i>Пурський О.І., Федоренко С.С.</i> Принципи побудови і функціонування експертних систем пожежної безпеки.....	138

<i>Спирина-Смилка Е.Ю., Яковлева Р.А., Попов Ю.В., Снагощенко Л.П., Ковтун Т.С., Маладыка И.Г.</i> Изучение технологических и эксплуатационных свойств огнезащитных эпоксидных полимерных материалов .....	142
<i>Теслюк П.В.</i> Вплив особистісних властивостей начальників караулів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на процес прийняття рішень .....	149
<i>Тищенко Е.А., Безуглов О.Е., Абрамов Ю.А.</i> Анализ временных характеристик тепловых пожарных извещателей.....	154
<i>Частоколенко І.П., Частоколенко П.П.</i> Про вплив пожежного ризику на ризик банкрутства суб'єктів господарської діяльності .....	158
<i>Дубенець А.С., Чубань В.С., Нікітіна Т.В.</i> Нормативні вимоги щодо виробництва та використання хімічних речовин у контексті законодавства REACH .....	164
<i>Круковский П.Г., Ковалев А.И.</i> Методика определения характеристики огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий на бетонных перегородках расчетно-экспериментальным методом .....	170
Abstracts/анотації .....	186
Наші автори (алфавітний покажчик) .....	199
Вимоги до оформлення статей .....	201
Паспорт спеціальності 21.06.02 – Пожежна безпека .....	212

УДК 614

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., С.Ю. Дмитровський, к.т.н.,  
Я.Б. Кирилів, к.т.н., О.В. Хлевной, ЛДУБЖД

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

В роботі проаналізовано температурні режими, що застосовуються при випробуванні будівельних конструкцій на вогнестійкість. На основі математичної моделі проведене розрахункове порівняння температурних полів в будівельних конструкціях при стандартному температурному режимі та при температурному режимі, заданому вуглеводневою кривою. На основі отриманих даних обґрунтовано необхідність детального дослідження температурного режиму пожеж в машинних залах АЕС.

**Ключові слова:** стандартний температурний режим, вуглеводнева крива, водень, машинний зал АЕС

**Постановка проблеми.** В Україні перші енергоблоки атомних електростанцій були введені в експлуатацію в період з 1981 по 1987 рік, в найближчі 10 років завершується їх проектний ресурс. На даний час здійснюється розробка заходів із підготовки реакторів до роботи у надпроектний термін. Одним із таких заходів є підвищення межі вогнестійкості будівельних конструкцій. Це завдання вирішується шляхом нанесення на поверхню конструкцій вогнезахисних покриттів.

Для з'ясування ефективності вогнезахисту будівельних конструкцій покриттями після їх нанесення необхідно визначити межі вогнестійкості будівельних конструкцій відповідно до затверджених у встановленому порядку методик. При цьому прийняті умови температурного впливу повинні бути максимально наближеними до реальних. Для цього необхідно максимально точно відтворити температурний режим при пожежі. Практика і спеціально проведені дослідження показали, що температурний режим під час пожежі в приміщенні залежить від кількості і властивостей горючих матеріалів, розмірів приміщення, умов теплообміну та газообміну.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливий вклад у експериментальні та теоретичні дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій внесли Яковлев А.І., Ройтман В.М., Романенков І.Г., Харченко І.О., Новак С.В., Демчина Б.Г., Бартелемі Б., Магнусон С., Накамура К., та ін. Огляд існуючих методик випробувань будівельних конструкцій наведено у роботах Круковського П.Г., Качкара С.В., та ін. За результатами аналізу робіт цих авторів, можна зробити висновок, що переважна більшість експериментальних та теоретичних даних отримані при врахуванні умов теплового впливу за стандартним температурним режимом. Це дозволяє сформулювати мету роботи.

**Мета роботи** – порівняння меж вогнестійкості будівельних конструкцій при різних температурних режимах та обґрунтування необхідності дослідження температурного режиму пожежі при горінні водню.

Одним із основних завдань пожежної профілактики є врахування на всіх стадіях капітального будівництва або реконструкції об'єктів будь-якого призначення здатності будівельних конструкцій зберігати свої властивості в умовах пожежі, у тому числі забезпечувати необхідну межу вогнестійкості.

На сьогодні керівним документом, який регламентує випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість, є ДСТУ Б.В. 1.1-4-98 "Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги". Згідно з цим документом, випробування будівельних конструкцій проводяться за стандартним температурним режимом, що не завжди повною мірою відтворює реальні умови пожежі. У

закордонній практиці випробування проводяться за різними температурними кривими залежно від області застосування будівельних конструкцій. Так, зокрема, відомі температурні тунельні криві Нідерландів та Німеччини, вуглеводнева крива, крива тліючої пожежі тощо [1].

У 2008 році було затверджено ДБН В.1.2-7-2008. "Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека", де зазначено, що для підтвердження вогнестійкості в умовах більш інтенсивного впливу (особливо за більш високої швидкості наростання температури) доцільно використовувати вуглеводневу криву

Для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій будь-яких видів, за винятком тих в яких основним граничним станом з вогнестійкості є втрата цілісності конструкції, а також для оптимізації конструктивних параметрів будівельних конструкцій з метою забезпечення необхідної вогнестійкості, можуть бути застосовані розрахункові методи визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій [2]. При визначенні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розрахунковим методом використовують стандартний температурний режим як модель повністю розвиненої пожежі. Ця крива визначається залежністю:

$$T = 345 \lg(8 \cdot t + 1) + 20 \quad (1)$$

де  $T$  – температура газу в печі, °С;

$t$  – тривалість теплового впливу протягом вогневого випробування, хв.

Стандартний температурний режим відображає умовну модель, що використовується для оцінювання поведінки виробів під впливом повністю розвиненої пожежі. Прийняття цієї кривої температура/час є спрощеним представленням термічної дії пожежі.

У деяких випадках інтенсивність теплового впливу під час реальної пожежі може бути більшою ніж та, що відтворюється в стандартному температурному режимі. Для підтвердження вогнестійкості в умовах більш інтенсивного впливу (особливо за більш високої швидкості наростання температури) використовується вуглеводнева крива, яка визначається залежністю [1,3]:

$$T = 1080 [1 - 0.325 \exp(-0.167 \cdot t) - 0.675 \exp(-2.5 \cdot t)] + 20. \quad (2)$$

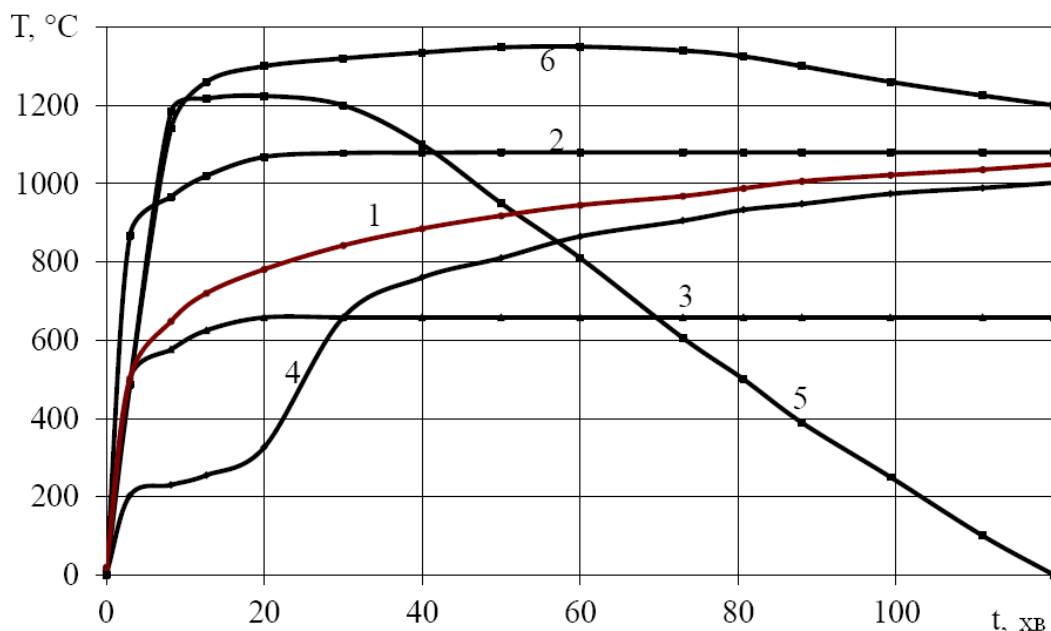


Рисунок 1 – Температурні режими:

1 – стандартний температурний режим (ISO 834); 2 – вуглеводнева крива (EN 1363-2: 1999); 3 – мінімізована єдина стандартна температурна крива (ISO 834); 4 – крива тліючої пожежі (EN 1363-2: 1999); 5 – тунельна крива за стандартом Німеччини (RABT); 6 – тунельна крива за стандартом Нідерландів (RWS)

Нами було проведено порівняння меж вогнестійкості за втратою теплоізолюючої

здатності ідентичних залізобетонних конструкцій при стандартному температурному режимі і при режимі, заданому вуглеводневою кривою.

Для цього ми представили будівельну конструкцію у вигляді безмежної плоскої стінки товщиною  $l$ , поверхні якої паралельні площині  $YOZ$  декартової системи координат та є ізотермічними поверхнями. Рівняння теплопровідності для стінки має вигляд [4]:

$$\frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau}, \quad (0 < x < l; 0 < \tau). \quad (3)$$

В початковий момент часу розподіл температурного поля по товщині стінки відомий, тобто

$$t(x, 0) = f(x), \quad (0 \leq x \leq l). \quad (4)$$

Вважаємо, що на зовнішніх поверхнях плоскої стінки задано конвекційний теплообмін із навколишнім середовищем за законами:

$$\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_0(t(0, \tau) - t_{\delta}(0, \tau)), \quad -\lambda \frac{\partial t(l, \tau)}{\partial x} = \alpha_1(t(l, \tau) - t_{\delta}(l, \tau)), \quad (5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки;  $\alpha_0$  – коефіцієнт теплообміну між навколишнім середовищем та поверхнею стінки при  $\delta=0$ ;  $\alpha_1$  – коефіцієнт теплообміну між навколишнім середовищем та поверхнею стінки при  $\delta=l$ ;  $t_0(0, \tau)$  – закон зміни температури навколишнього середовища за межами теплового приповерхневого шару біля поверхні  $x=0$ ;  $t_p(l, \tau)$  – закон зміни температури навколишнього середовища за межами теплового приповерхневого шару біля поверхні  $x=l$ .

Для розв'язування задачі теплопровідності (3) – (5) використаємо перетворення Лапласа по координаті  $\tau$ . При цьому вважаємо, що

$$t_{\delta}(0, \tau) = b_{00} + b_{10}\tau \quad \text{і} \quad t_{\delta}(l, \tau) = b_{01} + b_{11}\tau, \quad (6)$$

Розв'язавши задачі теплопровідності (3) – (5) за умови (6) отримуємо:

$$\begin{aligned} t(x, \tau) = & \frac{\alpha_0 b_{10}(\alpha_1(l-x) + \lambda) + \alpha_1 b_{11}(\alpha_0 x + \lambda)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} \tau + \\ & + \frac{\alpha_0 b_{00}(\alpha_1(l-x) + \lambda) + \alpha_1 b_{01}(\alpha_0 x + \lambda) + \frac{\alpha_0 b_{10}}{a} \left( \frac{\alpha_1(l-x)^3}{3!} + \frac{\lambda(l-x)^2}{2!} \right)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} + \\ & + \frac{\alpha_1 b_{11} \left( \frac{\alpha_0 x^3}{3!} + \frac{\lambda x^2}{2!} \right)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} - \frac{\alpha_0 b_{10}(\alpha_1(l-x) + \lambda) + \alpha_1 b_{11}(\alpha_0 x + \lambda)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} \times \frac{\alpha_0 \alpha_1 l^3 + \lambda^2 l + \frac{(\alpha_0 + \alpha_1) \lambda l^2}{2!}}{a(\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda)} + \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} \left( \alpha_0 \left( \frac{b_{10}}{\gamma_i^4} - \frac{b_{00}}{\gamma_i^2} \right) \left( \alpha_1 \sin \frac{\gamma_i(l-x)}{\sqrt{a}} + \frac{\lambda \gamma_i}{\sqrt{a}} \cos \frac{\gamma_i(l-x)}{\sqrt{a}} \right) + \right. \\ & \left. + \left( \alpha_0 \sin \frac{\gamma_i x}{\sqrt{a}} + \frac{\lambda \gamma_i}{\sqrt{a}} \cos \frac{\gamma_i x}{\sqrt{a}} \right) \left( \alpha_1 \left( \frac{b_{11}}{\gamma_i^4} - \frac{b_{01}}{\gamma_i^2} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\lambda}{a} \int_0^l f(\xi) \cos \frac{\gamma_i(\xi-l)}{\sqrt{a}} d\xi - \frac{\alpha_1}{\gamma_i \sqrt{a}} \int_0^l f(\xi) \sin \frac{\gamma_i(\xi-l)}{\sqrt{a}} d\xi \right) \right) \frac{e^{-\gamma_i^2 \tau}}{\Delta'(\gamma_i)} \quad (7) \end{aligned}$$

На основі залежності (7), використовуючи математичний редактор MathCad, ми визначили і порівняли розподіл температурних полів у будівельних конструкціях за двох температурних режимів – стандартного і заданого вуглеводневою кривою. Отримані результати дають можливість стверджувати, що прогрів сторони конструкції, що не обігривається, до температури 200°C при температурному режимі, заданому вуглеводневою кривою настає на 9-14% швидше, залежно від матеріалу конструкції. Тобто, при температурному режимі пожежі більш жорсткому

від стандартного, межа вогнестійкості конструкцій може не відповідати вимогам нормативно регламентованого ступеня вогнестійкості будівлі.

Основним чинником пожежної безпеки атомних електростанцій є водень, що використовується для охолодження турбогенераторів та виділяється з реактора при нормальних режимах роботи електростанції та в аварійних ситуаціях. Приміщеннями, в яких можливе виникнення вибухонебезпечних концентрацій, є реакторне відділення, машинні зали, електролізні та акумуляторні. Горіння водню може зіграти вирішальну роль у руйнуванні або прискоренні руйнування захисної оболонки при аварії, пов'язаній із розривом головного циркуляційного трубопроводу реактора, а також при аварії з повною втратою пристроїв безпеки.

Згідно з довідковими даними, вибухонебезпечні властивості водневої суміші з повітрям характеризуються такими даними: область займання (4,12-75,4)% обсягу, мінімальна енергія запалювання – 0,02 мДж, температура самозаймання – 783 К, нормальна швидкість поширення полум'я – 2,7 м/с, мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню – 5,0% об'єму. Максимальний тиск вибуху – 730 кПа. Температура горіння водню (окисник – повітря) становить 2483 К. Молярна теплота згорання – 241,6 кДж/моль.

З технологічних характеристик генератора виходить, що його газовий об'єм може становити до 73 м<sup>3</sup>, а тиск водню – 3,0 кгс/см<sup>2</sup>. При розгерметизації корпусу генератора водень змішується з киснем повітря, що може викликати горіння дифузійного факела або вибух. Можливі параметри горіння водню при розгерметизації корпусу генератора приймають відповідно до [5], звідки витікає, що розміри полум'я залежать головним чином від швидкості витікання газу через отвір та розміру отвору. В даному випадку практичний інтерес представляють режими витікання водню через отвори розмірами від 0,05 м до 0,1 м. При розмірах отвору більших 0,10 м, незважаючи на велику висоту факела, тривалість горіння занадто мала, а при менших 0,05 м і достатній тривалості горіння, висота факела полум'я не перевищує 1,5 м. При факельному горінні водню або при вибуху виділяється достатня кількість енергії для запалення турбінного масла, що витікає із системи мащення та ущільнення вала генератора. Пожежа розливу буде становити загрозу для кроквяних ферм конструкцій перекриття та для колон. Дію пожежі на несучі конструкції машзалів АЕС доцільно проводити, розглядаючи такі варіанти пожеж:

- факельне горіння водню при його виділенні з корпусу генератора;
- горіння на майданчику обслуговування турбінного масла, що розлилося з системи мащення і ущільнення генератора;
- факельне горіння струменя масла, що фонтанує з напірного маслопроводу на відмітці обслуговування турбіни;
- горіння масла в межах монтажного майданчика головного маслоблока.

**Висновок.** В даній роботі було проведено моделювання та розрахунок температурних полів в огорожуючих конструкціях при двох різних температурних режимах пожежі. Встановлено, що при температурному режимі, заданому вуглеводневою кривою втрата теплоізолюючої здатності настає на 9-14% швидше (залежно від матеріалу конструкції). Беручи до уваги отримані результати, враховуючи показники пожежовибухонебезпеки водню, можливий характер розвитку пожежі при розгерметизації корпусу генератора, можна зробити висновок, що температурний режим при пожежах на об'єктах із використанням водню, зокрема АЕС, не може бути достовірно представлений за допомогою вищеописаних моделей [6], оскільки темпи нагрівання та максимальне значення середньооб'ємної температури будуть вищими. Результати випробувань за стандартним температурним режимом будівельних конструкцій, які застосовуються на АЕС та інших об'єктах із використанням водню, не гарантують забезпечення встановленої межі вогнестійкості при пожежі. Таким чином обґрунтовано, що розробка моделі температурного впливу при горінні водню, яка буде відображатися водневою кривою і буде придатна для застосування на атомних електростанціях при розрахунковому визначенні меж вогнестійкості будівельних конструкцій або при розробці заходів із їх збільшення, є важливим науковим завданням.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Круковский П.Г. Эффективность вспучивающихся огнезащитных покрытий железобетонных конструкций при различных режимах пожара / П.Г.Круковский, Е.В.Качкар, А.И.Ковалев // Науковий вісник УкрНДІПБ. – К., 2010. – №1(21), – С. 75-83.
2. Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В. 1.1.7-2002.
3. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4\*-98.
4. Величко Л.Д. Термодинаміка і теплопередача в пожежній справі : навчальний посібник / Л.Д. Величко, Р.Я. Лозинський, М.М. Семерак. – Львів : ЛДУБЖД, 2011. – 532 с.
5. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность : справочник. – М. : Химия, 1987.
6. Оптимізація методів температурних випробувань / [Ковалишин В.В., Дмитровський С.Ю., Кирилів Я.Б., Хлевной О.В.] // Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього : збірник тез доповідей Міжнародної конференції 20-22 квітня 2011 року. – К., 2011. – С.239-240.