

УДК 614.841.45

к.т.н., с.н.с. Ніжник В.В.,

nignyk@ukr.net, orcid: 0000-0003-3370-9027,

к.т.н. Балло Я.В., 2801397@ukr.net, orcid: 0000-0002-9044-1293,

д.т.н., професор Поздєєв С.В., svp_chipbbk@ukr.net, orcid: 0000-0002-9085-0513,

Некора В.С., svp_countrymen@mail.ru, orcid: 0000-0002-9065-0522,

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

ОЦІНКА ОБМЕЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ МІЖ ЖИТЛОВИМ БУДИНКОМ ТА АВТОЗАПРАВНОЮ СТАНЦІЄЮ

Наведено результати застосування програмного комплексу ANSYS APDL для дослідження пожежної небезпеки та ймовірності поширення пожежі на суміжну споруду. Обґрунтовано забезпечення пожежної безпеки суміжних об'єктів за показниками взаємного теплового впливу та теплового потоку від можливої пожежі на кожному із об'єктів. Розглянуті найбільш небезпечні сценарії виникнення та розвитку пожежі, як на автозаправному комплексі так і у внутрішньому просторі житлового будинку, настання яких імовірно на даних спорудах. Побудовано розрахункові схеми та отримано результати, які приведені у вигляді температурних розподілів по фасаду будівлі та елементах ділянки АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури.

Ключові слова: протипожежні відстані, Ansys apdl, пожежна безпека, температурні розподіли, моделювання

Постановка проблеми. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами нового будівництва або реконструкції існуючих є однією із першочергових задач під час забезпечення протипожежного захисту об'єктів, розроблення ситуаційного плану розташування об'єктів будівництва, а також планування прибудинкової території. Правильне визначення протипожежних відстаней забезпечує не тільки безпеку суміжних об'єктів під час будівництва та експлуатації, але і має економічну складову в частині раціонального використання території.

Аналіз джерел щодо розрахунків нормування та визначення протипожежних відстаней між будівлями та спорудами [1-5] показав, що єдиного підходу щодо методів таких розрахунків не існує.

В Україні визначення протипожежних відстаней між об'єктами різного функціонального призначення під час будівництва або реконструкції базується на табличному методі [6]. Метод розрахунку та обґрунтування параметрів

протипожежних відстаней між будівлями та спорудами різного функціонального призначення викладено [7].

На сьогоднішній день активного застосування набуває комп'ютерне моделювання процесів теплопередачі між об'єктом, що горить та об'єктом, що опромінюється.

Метою даної роботи є обґрунтування безпечних протипожежних відстаней між житловим будинком та АЗС із використанням сучасних комп'ютерних комплексів.

Об'єктом дослідження є процеси теплообміну між житловим будинком та АЗС під час пожежі.

Предмет дослідження – вплив температури пожежі на безпечну відстань між житловим будинком та АЗС.

Для досягнення мети поставлені та розв'язані наступні задачі:

- провести аналіз пожежної небезпеки досліджуваних об'єктів;
- вибір сценарію пожежі;
- задавання розрахункової області з визначення елементів, які враховуються під час моделювання: геометрія та матерія об'єктів, світлових прорізів, параметри навколишнього середовища, формування математичної моделі розвитку пожежі;
- проведення моделювання альтернативними програмними комплексами;
- аналіз отриманих результатів та обґрунтування висновків.

Загальний опис об'єкту. Об'єктом, що розглядається у даній роботі, є висотний житловий будинок з об'єктами громадського призначення та дитячим дошкільним закладом (далі – житловий будинок) та автозаправний комплекс. На рисунку 1 наведено ситуаційний план розташування територій вищезазначених об'єктів.

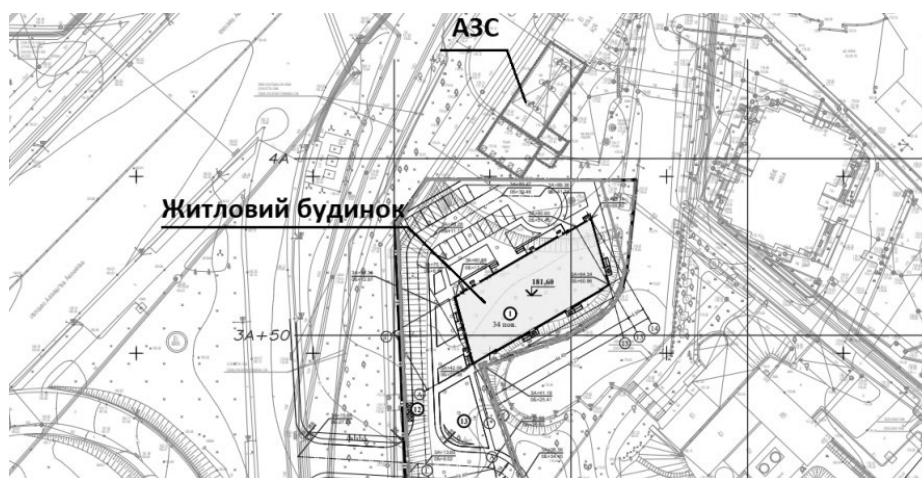


Рис. 1. Ситуаційний план розміщення висотного житлового будинку і автозаправного комплексу

Висотний будинок, з умовною висотою 73,5 м має згідно класифікації [8] І ступінь вогнестійкості, стіни виконані із кременегранітних блоків та облицьовані зовнішнім негорючим утеплювальним матеріалом (мінвата, за пожежною класифікацією [8] відповідає класу негорючого матеріалу НГ), товщиною 160 мм. На першому поверсі будівлі знаходяться 5 приміщень громадського призначення із площами 102,10 м², 101,67 м², 90,16 м², 69,98 м² та 112,05 м².

Автозаправний комплекс складається із пункту заправки автотранспорту, магазину роздрібної торгівлі та пункту приймання палива. Ділянки пунктів заправки автотранспорту та пункту приймання палива обладнано пристроєм збору поверхневих вод та збору аварійного проливу палива із автоцистерни. На ділянці території пункту приймання також розміщені клапани скиду парів бензину під час зливу палива в резервуари.

Наявна відстань між об'єктами, що розглядається, а саме житлового будинку та поля оглядових люків та дихальної арматури підземних сховищ становить 20 м.

В якості розрахункових сценаріїв слід розглядати найбільш небезпечний варіант виникнення та розвитку пожежі, як на автозаправному комплексі так і у внутрішньому просторі висотного житлового будинку, за яким показники небезпечних чинників пожежі (тепловий потік та температура) мають найбільше значення впливу на об'єкти дослідження.

У зв'язку із зазначеним, в якості першого сценарію аварійної ситуації розглядається пожежа на автозаправному комплексі в результаті порушення технологічного процесу. За прийнятим сценарієм аварії, під час переливу палива (бензин марки А-95) із авто-бензовоза до підземних резервуарів автозаправного комплексу сталася розгерметизація рукавної лінії та, як наслідок, розлив палива загальним об'ємом 5000 л на всю площу ділянки зливу палива обмежену запобіжними нафтовловлювальними пристроями, площа розливу становить 47,25 м². На рисунку 2 приведена ситуаційна схема пожежі.



Рис. 2. Ситуаційна схема пожежі на автозаправному комплексі за першим сценарієм аварії

В якості другого сценарію аварійної ситуації, розглядається пожежа на першому поверсі в середині житлового будинку в приміщенні найбільш близько розташованого відносно території заправного комплексу. За результатом аналізу проектної документації та об'ємно-планувальних рішень, обрано найбільше приміщення громадського призначення із загальною площею 102,1 м². Фасадна сторона приміщення виходить на заправний комплекс, при цьому між будинком та автозаправним комплексом на відстані 20 м знаходяться клапани скиду парів бензину.

Розрахункова тривалість вільного горіння пожежі за сценаріями 1 та 2 складає 10 хв, що відповідає нормативному часу прибуття пожежно-рятувальних підрозділів згідно [6].

Відповідно до прийнятих сценаріїв можливої пожежі для досліджуваних об'єктів побудовані розрахункові схеми та прийнято наступні основні положення та припущення:

1. Температурний вплив імовірної пожежі оцінюється шляхом моделювання теплового переносу тільки за рахунок теплового випромінювання, оскільки при наявних умовах перенос тепла за рахунок конвекції має незначний вклад [4, 9-11].

2. Математична модель теплопередачі має у своїй основі рівняння теплопровідності з одночасним застосуванням інтегрального рівняння променистого теплообміну.

3. Джерелом тепла при тепловому впливі пожежі є її факел, що має сталу геометричну форму і має сталу температуру – температуру горіння бензину у випадку першого сценарію пожежі на майданчику розвантаження бензовозів на АЗС та середню температуру горіння пожежного навантаження при пожежі у приміщеннях житлових будинків.

4. Форма факела горіння бензину має конічну форму, при цьому контур основи конуса повторює контур майданчика розвантаження бензовоза на АЗС, висота факелу є вдвічі більшою за еквівалентний радіус кругової площі горіння [10].

5. Форма факелу пожежі у житловому будинку має форму прямокутної призми, висота факелу обмежується трьома поверхами будинку.

6. Основними критеріями, що визначають ризик утворення пожежі у будинку як наслідок теплового впливу пожежі на АЗС є досягнення температурного значення спалахування тканини штор поблизу віконних просвітів та критичного значення густини теплового потоку на даній тканині.

7. Основним критерієм, що визначає ризик утворення пожежі на АЗС, як наслідок теплового впливу пожежі у житловому будинку є досягнення

температурного значення спалахування парів бензину на полі дихальної арматури та оглядових люків АЗС.

8. Вважається що прозоре огороження просвітів (засклення) будівлі не впливає на послаблення теплового потоку що прямує від осередку пожежі.

З огляду на прийняті положення, побудовано розрахункові схеми для обох сценаріїв пожежі за допомогою комп'ютерного комплексу ANSYS APDL. На рисунку 3 наведено побудовані схеми за двома сценаріями пожежі.

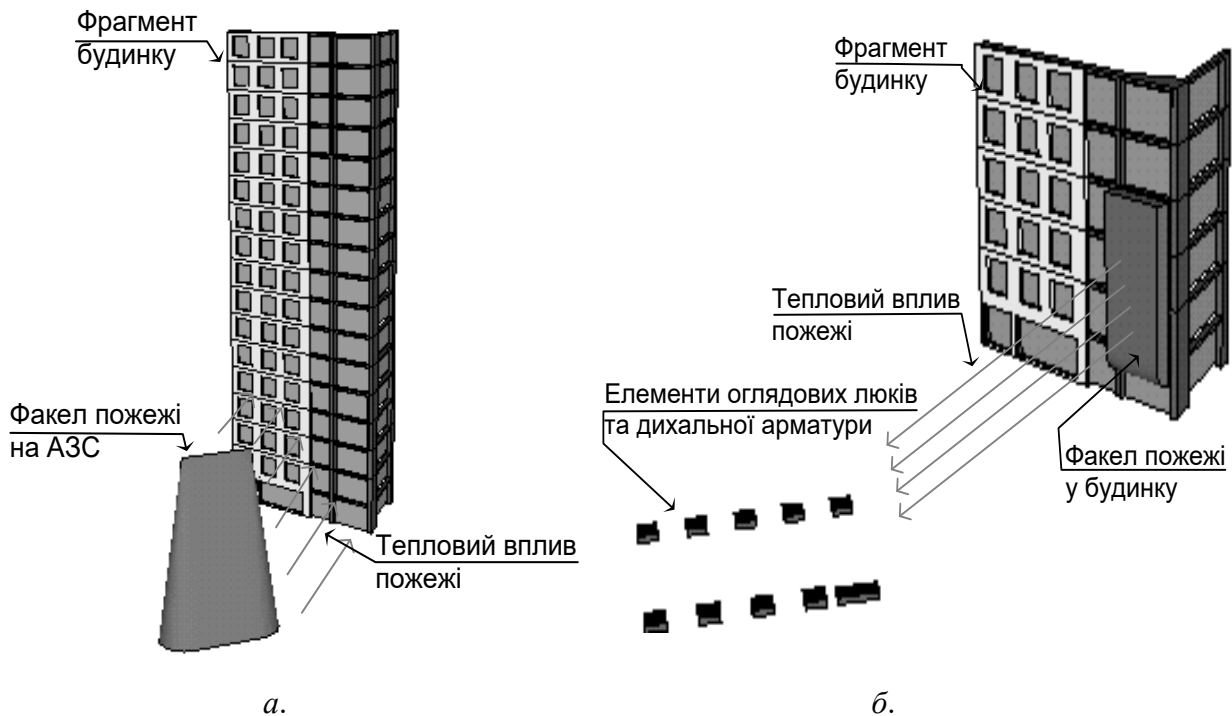


Рис. 3. Розрахункові схеми впливу пожежі
(а – вплив пожежі від АЗС; б – вплив пожежі від житлового будинку)

Розміри фрагменту будівлі вибиралися з огляду на ефект затемнення деяких областей будинку для випромінювання факелу, а також можливості суттєвого теплового впливу. Таким чином для першого сценарію розглядається фрагмент із 17 поверхами, а для другого – фрагмент із 6 поверхами.

Висота факелу для сценарію пожежі на АЗС визначалася за формулою (1):

$$H = 4 \sqrt{\frac{ab}{\pi}} = 15,52 \text{ м}, \quad (1)$$

де $a = 10,5$ м, $b = 4,5$ м – довжина та ширина майданчику розвантаження бензовозу на АЗС.

Для побудування розрахункової схеми прийняті початкові параметри, які наведені у таблиці 1

Таблиця 1

Початкові параметри для побудування розрахункових схем

Температура факела пожежі на АЗС [3], К (°С)	Температура факела пожежі у будинку [1], К (°С)	Початкова температура, К (°С)
1150 (877)	923 (650)	293 (20)

При побудуванні моделі будівлі розглядається три типи матеріалів – цегляна кладка для стін, залізобетон для каркасу будівлі, бавовняна тканина (як найбільш небезпечна). При побудуванні моделі поля оглядових люків та дихальної арматури використовується залізобетон та сталь. Теплофізичні властивості матеріалів наведені у таблиці 2

Таблиця 2

Теплофізичні характеристики матеріалів

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м ³ ·°С)	Густина, кг/м ³
Важкий бетон на гранітному заповнювачі EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2$	900ρ при 20 °С ≤ θ ≤ 100 °С, (900+(θ- 100))ρ при 100°С < θ ≤ 200°С, (1000+0,5(θ-100))ρ при 200°С < θ ≤ 400°С, 1100ρ при 400°С < θ ≤ 1200°С	2300
Кладка з керамічної цегли EN 1996-1-2:2012		
0,42· при 0 °С ≤ θ ≤ 20 °С, 0,42+4,7·10 ⁻³ (θ- 50) при 20°С < θ ≤ 200°С, 1,26 при 200°С < θ ≤ 1200 °С	564ρ при 20 °С ≤ θ ≤ 100 °С, (1,1·10 ⁴ +13,5(θ- 100))ρ при 100 °С ≤ θ ≤ 200 °С, (2,8·10 ³ +3,9(θ- 100))ρ при 200 °С ≤ θ ≤ 1200 °С.	825
Бавовняна тканина [9]		
0,053	ρ·1000	240
Сталь EN 1993-1-2:2012 Eurocode 3		
54 – 3,33·10 ⁻² θ при 20 °С ≤ θ ≤ 800 °С, 27,3 при θ > 800 °С.	425+0,773θ- 1,69 10 ⁻² θ ² +2,22 10 ⁻⁶ θ ³ при 20 °С ≤ θ ≤ 600 °С, 666–13002/(θ-738) при 600°С < θ ≤ 735°С, 545+17820/(θ-731) при 735°С < θ ≤ 900°С, 650 при 900°С < θ ≤ 1200°С	7850

Для реалізації сценаріїв можливих пожеж та визначення значень теплового впливу на досліджувані елементи, створено кінцево-елементні схеми, які наведені на рисунку 4.

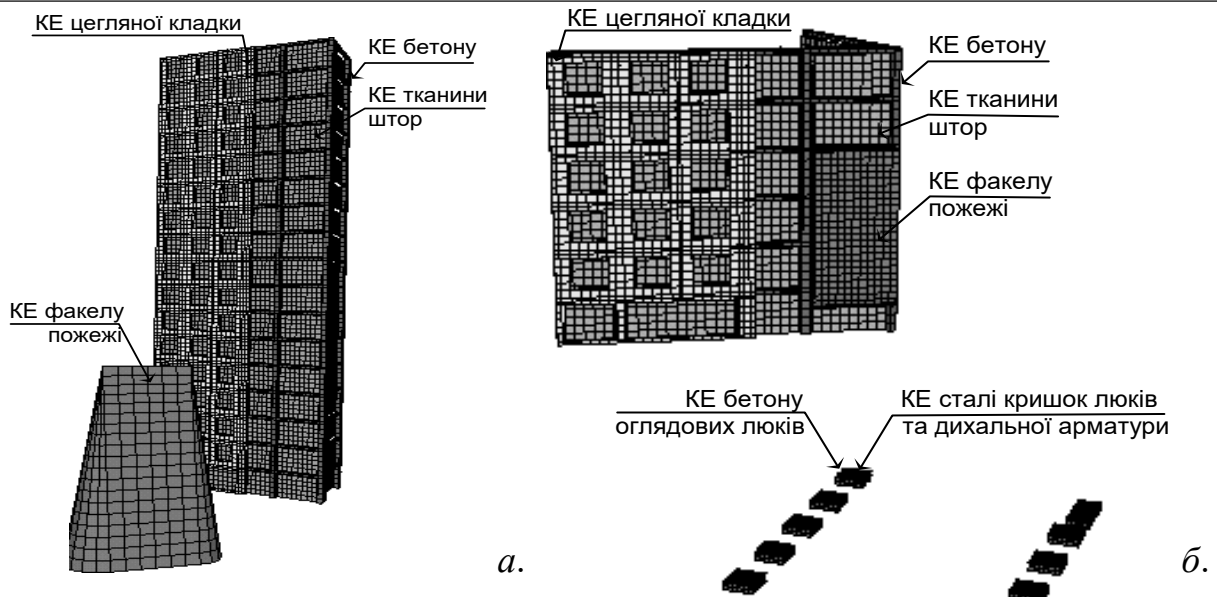


Рис. 4. Кінцево-елементні схеми теплової взаємодії між факелом пожежі на майданчику АЗС для розвантаження бензовозу та житлового будинку (а) та теплової взаємодії між факелом пожежі у житловому будинку та елементами поля оглядових люків та дихальної арматури підземних резервуарів для палива АЗС

Ризик можливості утворення пожежі у житловому будинку при її першому сценарії визначається як висока імовірність займання тканини штор, що була змодельована (див. рис.4, «а») внаслідок теплової дії факелу пожежі на АЗС. При цьому така імовірність з'являється при досягненні критичних значень температури та теплового потоку на кінцевих елементах, відповідних тканині штор. Ризик можливості утворення пожежі на поверхні під підземними резервуарами АЗС при її другому сценарії визначається як висока імовірність займання парів бензину над люками та дихальною арматурою (див. рис. 4, «б») унаслідок теплової дії факелу пожежі у житловому будинку. При цьому така імовірність з'являється при досягненні критичних значень температури на кінцевих елементах люків та дихальної арматури.

Граничне значення обраних критеріїв, що визначають високий ризик утворення пожежі на досліджуваних об'єктах для першого сценарію пожежі складає $210\text{ }^{\circ}\text{C}$, як температура самозаймання хлоп-бумажної тканини (штори). При цьому критична густина теплового потоку для будівель I-II ступеню вогнестійкості згідно [7], складається 15.5 кВт/м^2 .

Граничне значення критеріїв для другого сценарію пожежі складає $255\text{ }^{\circ}\text{C}$, як Температура самозаймання парів бензину, при цьому критична густина теплового потоку для складів з нафтопродуктами згідно з [7], складає 30 кВт/м^2 .

Після проведення розрахунку для першого сценарію пожежі на АЗС та ризику утворення пожежі у будівлі отримані результати температурних розподілів по фасаду будівлі в залежності від часу, які наведені на рисунку 5.

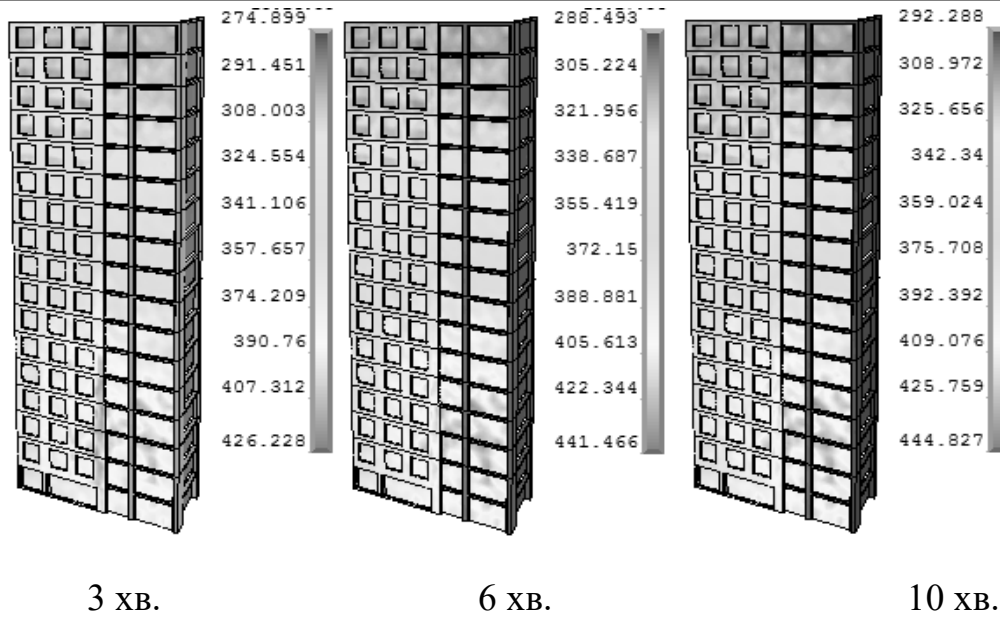


Рис. 5. Температурні розподіли (К) по фасаді будинку у різні моменти часу впливу пожежі.

Аналіз температурних розподілів показує, температура штор не підвищується більше за 445 К (172 °С), тобто не перевищує критичної температури спалахування бавовняної тканини. За критерієм температури спалахування бавовняної тканини утворення пожежі на шторах житлової будівлі під впливом пожежі на АЗС малоімовірно.

Для аналізу ризику утворення пожежі за критерієм густини теплового потоку були побудовані відповідні розподіли, які наведені на рисунку 6.

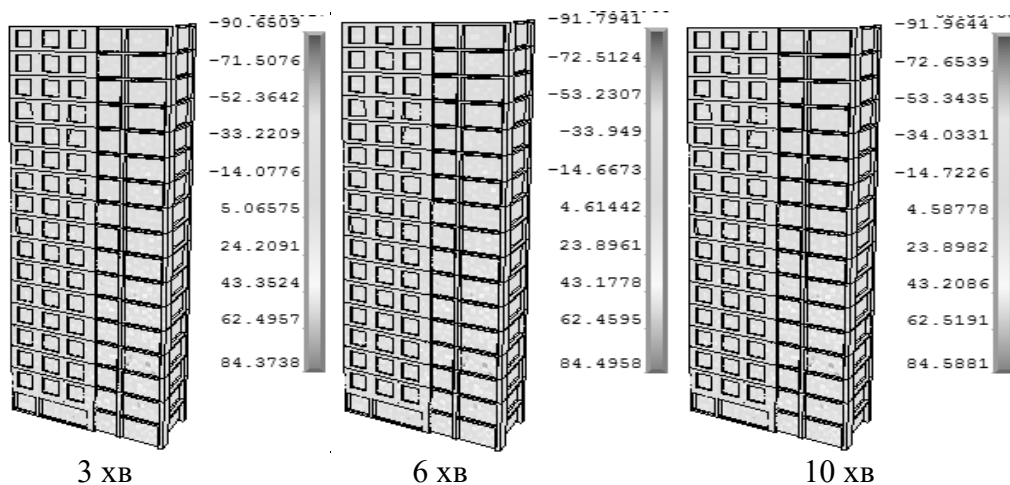


Рис. 6. Розподіли густини теплового потоку (Вт/м²) по фасаді будинку у різні моменти часу впливу пожежі.

Аналіз розподілів на рисунку 6 показує що найбільша густина теплового потоку складає 84 Вт/м², що є меншим за критичне значення 15.5 кВт/м², тож утворення пожежі у будівлі за даним критерієм також є малоімовірним.

Після проведення розрахунку для другого сценарію впливу пожежі у житловому будинку на ризик утворення пожежі на АЗС отримані результати, що наведені у вигляді температурних розподілів по фасаді будівлі та елементах ділянки АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури. Отримані розподілення наведені на рисунку 7. На побудованих розподілах можна побачити, що температура елементів оглядових люків та дихальної арматури підземних резервуарів підвищується не більше як на 10 – 20 °С, тож попередні дані показують, що утворення пожежі на даній ділянці АЗС малоймовірно.

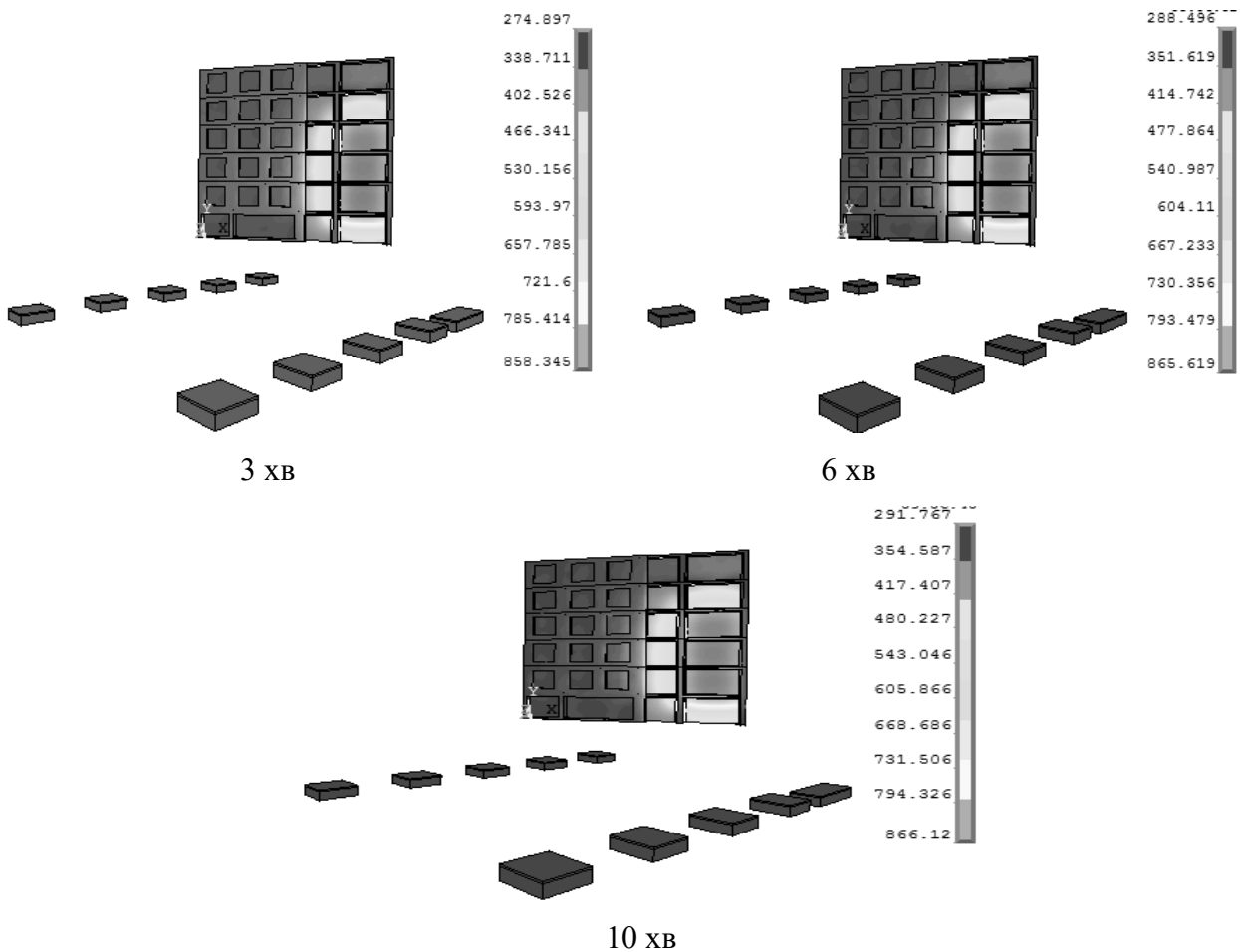


Рис. 7. Температурні розподіли (К) по фасаді будівлі та елементах ділянки АЗС у різні моменти часу впливу пожежі у будівлі

Для більшої деталізації температурних розподілів по елементах ділянки АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури, що змодельовані, як найбільш небезпечні елементи з точки зору ризику утворення пожежі, побудовані відповідні температурні розподіли. Побудовані розподіли наведені на рисунку 8.

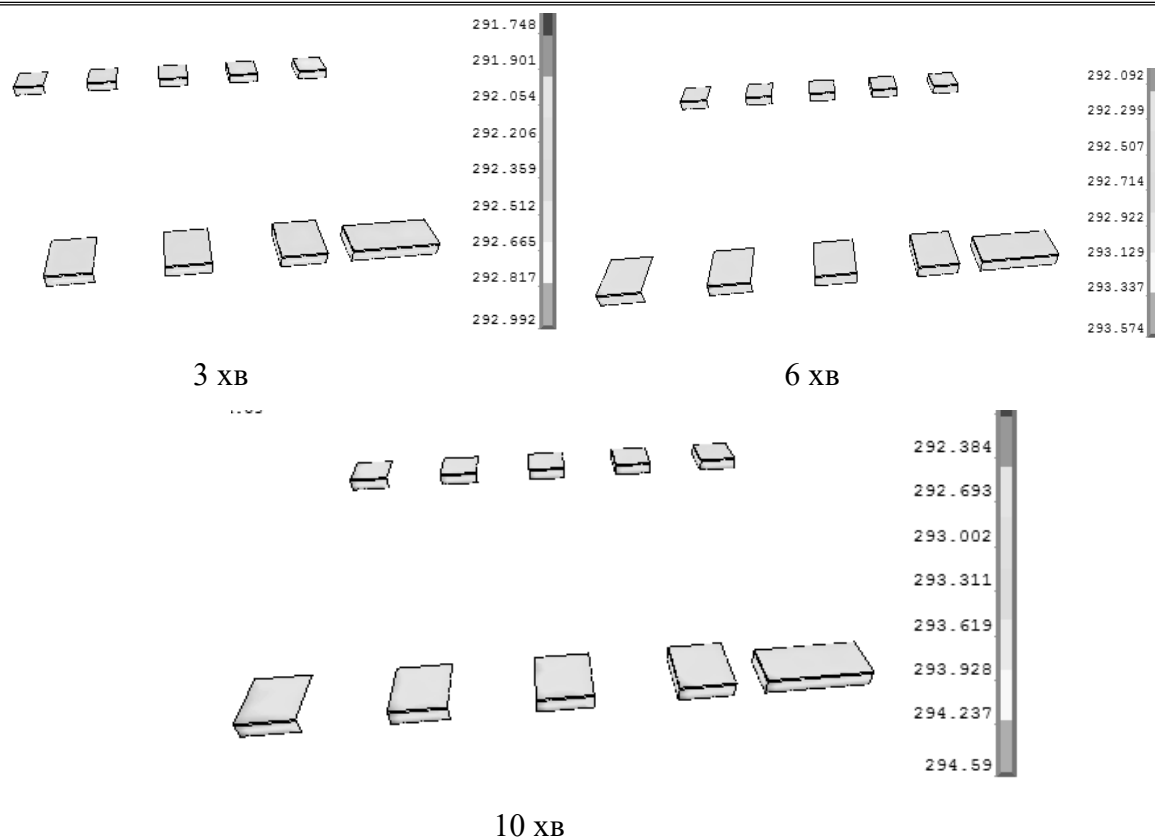


Рис. 8. Температурні розподіли (К) по елементах ділянки АЗС у різні моменти часу впливу пожежі у будівлі

Аналіз температурних розподілів показує, температура елементах ділянки АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури, не підвищується більше за 295 К (22°C), тобто не перевищує критичної температури спалахування парів бензину. Таким чином, за критерієм температури спалахування парів бензину утворення пожежі на ділянці АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури, під впливом пожежі у житловому будинку малоймовірно.

Для аналізу ризику утворення пожежі за критерієм густини теплового потоку побудовані відповідні розподіли, які наведені на рисунку 9. Аналіз розподілів показує що найбільша густина теплового потоку 2,85 Вт/м² є меншою за критичне значення 30 кВт/м², тож утворення пожежі на ділянці АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури, під впливом пожежі у житловому будинку є малоймовірним.

Аналіз розподілів, які наведені на рисунку 9 показує, що пожежа у будівлі є малоймовірною причиною утворення пожежі на ділянці АЗС, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та елементи дихальної арматури.

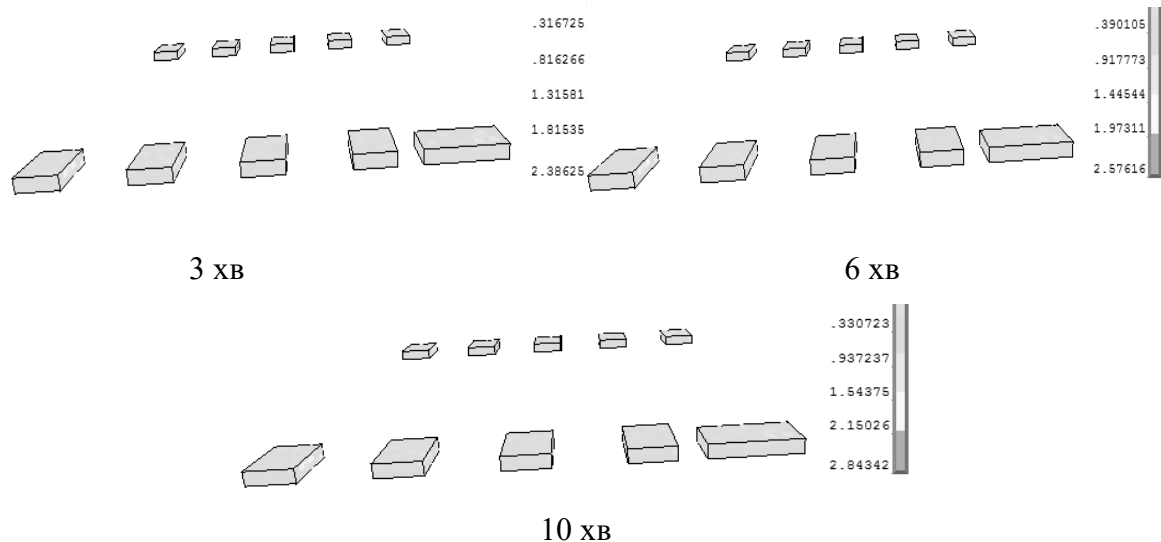


Рис. 9. Розподіли густини теплового потоку (Вт/м²) по елементах ділянки, де розташовані оглядові люки підземних резервуарів та частини дихальної арматури, у різні моменти часу впливу пожежі

Висновки. На основі аналізу проектної документації та ситуаційного плану розміщення об'єктів, побудовано розрахункові схеми взаємного теплового впливу при пожежі на АЗС та у житловому будинку. Проведено розрахунок густину теплового потоку при пожежі на кожному із об'єктів та побудовані відповідні температурні розподіли температурного впливу.

Визначено, що протипожежна відстань 22 м від площадки зливу АЗС до житлового будинку забезпечує умову відсутності поширення пожежі на житловий будинок від теплового потоку можливої пожежі на АЗС. Протипожежна відстань 20 м від житлового будинку до поля оглядових люків та дихальної арматури підземних сховищ забезпечує умову не поширення пожежі на АЗС від теплового потоку можливої пожежі у житловому будинку.

Досліджено та обґрунтовано за допомогою програмного комплексу ANSYS APDL рівень небезпеки різних сценаріїв виникнення пожежі, що може застосовуватись як наукове підґрунтя забезпечення пожежної безпеки в частині визначення критичного значення протипожежних відстаней між об'єктами.

Література:

1. Комов В.Ф., Шевяков Г.Г. Определение безопасных расстояний при выбросе в атмосферу газообразного водорода // Проблемы горения и тушения: Сб. научн. тр. - М.: ВНИИПО, 1973. - С. 180-191.
2. Thomas P.H., Fire Research Note, N.600, Fire Research Station, Borehamwood, England, 1965.
3. M.S. Rajn, R.A. Strehlow. J. Hazardous Materials, 1984, V.9, p. 265.

4. Моделирование процессов образования взрывопожароопасных газовых смесей: Отчет о НИР/НПО «Криогенмаш», ВНИИПО; Иванов Б.А., Кудряшов Б.А., Баратов А.Н. - инв. N 2796. - 1977.
5. Emil Carlsson, Report 5051 - External fire spread to adjoining buildings – A review of fire safety design guidance and related research - Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999 – 125 p.
6. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій. – К.: Мінрегіон України, 2018 – 187 с.
7. Б.В. Грушевский, А.И. Яковлев, И.Н. Кривошеев та ін. // Пожарная профилактика в строительстве.- М.:ВИПТШ, 1985.- 177 с.
8. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги / Наказ Мінрегіону України про затвердження від 31.10.2016 № 287. – Київ.: УкрНДЦЗ, 2017 – 40 с.
9. Б. Грушевский, Н. Котов, В. Сидорук и др. // Пожарная профилактика в строительстве: Учебник для пожарно-технических училищ — М.: Стройиздат, 1989. - 368 с.: ил.
10. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – М.: Недра, 1984. – 151 с.
11. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2002.

к.т.н., с.н.с. Нижник В.В., к.т.н. Балло Я.В.,
д.т.н., профессор Поздеев С.В., Некора В.С.,
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

ОЦЕНКА ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА МЕЖДУ ЖИЛЫМ ДОМОМ И АВТОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИЕЙ

Показано результаты применения программного комплекса ANSYS APDL для исследования пожарной опасности и вероятности распространения пожара на смежное сооружение. Обоснованно обеспечение пожарной безопасности смежных объектов по показателям взаимного теплового влияния и теплового потока от возможного пожара на каждом из объектов. Рассмотрены наиболее опасные сценарии возникновения и развития пожара, как на автозаправочных комплексах так и во внутреннем пространстве жилого дома, наступление которых вероятно на данных сооружениях. Построено расчетные схемы и получены результаты, представленные в виде температурных распределений по фасаду здания и элементах участка АЗС, где

расположены смотровые люки подземных резервуаров и элементы дыхательной арматуры.

Ключевые слова: противопожарные расстояния, Ansys apdl, пожарная безопасность, температурные распределения, моделирование.

Cand. of Sc. (Eng), Sen. St. Sc., V.V. Nizhnyk, Cand. of Sc.
(Eng) Y.V. Ballo, Doc. of Sc. (Eng) S.V. Pozdieiev, V.S. Nekora,
The Ukrainian Civil Protection Research Institute

EVALUATION OF THE LIMITATION OF THE SPREAD OF FIRE BETWEEN A RESIDENTIAL BUILDING AND A GAS STATION

The results of using the ANSYS APDL software package for studying the fire hazard and the probability of fire spreading to an adjacent structure are shown. It is reasonable to ensure the fire safety of adjacent objects in terms of the mutual thermal effect and heat flux from a possible fire on each of the objects. The most dangerous scenarios for the occurrence and development of fire are considered, both at gas stations and in the internal space of a dwelling house, the occurrence of which is likely on these structures. The design schemes were built and the results were obtained, presented in the form of temperature distributions along the building facade and elements of the gas station site, where the inspection hatches of underground tanks and respiratory reinforcement elements are located.

Keywords: fire distances, Ansys apdl, fire safety, temperature distributions, modeling