

Хілько Ю.В., Тригуб В.В., Грицина І.М.

Національний університет цивільного захисту України

Моделювання безпечної евакуації людей з висотних будівель при пожежі

Вступ. Попит у висотних будівлях обумовлений нестачею вільної території під забудову у великих мегаполісах, бажанням інвестора отримати максимальний прибуток з мінімальної території, а також запитом держави і суспільства на значущі домінуючі об'єкти в містобудівній політиці. Висотні будівлі надають містам виняткову виразність і сучасний індивідуальний вигляд. Такі будівлі відносяться до об'єктів з масовим перебуванням людей, так-як на нижніх поверхах за проектами розташовують торговельні та офісні приміщення, що додає технічну складність, а часто унікальність об'єктам. Саме такі об'єкти і представляють величезну матеріальну цінність. Пожежі у висотних будівлях, як правило, призводять до людських жертв, великому матеріальному збитку, а також великому суспільному резонансу. Нажаль, технічні досягнення у цій галузі опережають розвиток нормативної бази.

При пожежах в житлових будинках загибель людей в результаті обвалення конструкцій малоімовірна, так як умови, небезпечні для життя людей при пожежі, з'являються значно раніше, ніж настає межа вогнестійкості будівельних конструкцій. Контакт людини з відкритим полум'ям навіть протягом малого проміжку часу призводить до загибелі людини.

Мета і завдання. Будівництво житлових будівель займає одне з ведучих місць серед багатьох інших галузей. На сьогодні ведучою ланкою цієї галузі є висотні будівлі. Дуже часто на цих об'єктах виникають пожежі, які призводять до значних збитків. Аналізуючи статистичні данні за 2016 рік на об'єктах житлового сектору відбулося 3591 пожеж, що склала 72,4% від загальної кількості пожеж [5].

На протипожежний захист житлового сектору у тому числі на висотні

будівлі витрачають суттєві кошти, крім цього проводиться одночасно удосконалення протипожежного законодавства. Але потенціальна пожежна безпека дуже часто все-таки не реалізовується. Економіка всіх країн відчуває несприятливу дію чинників, які пов'язані із зростанням кількості пожеж і тяжкістю їх наслідків[2]. При виникненні пожежі у висотних будівлях необхідно в першу чергу за найменший період критичного часу пожежі евакуювати мешканців будівлі з вище розташованих поверхів.

Результати дослідження. При пожежах в висотних будівлях, загибель людей внаслідок обвалу конструкцій не зафіксовано. Небезпечні умови для життя людей, виявляються значно раніше, ніж настає межа вогнестійкості будівельних конструкцій. У подібних умовах контакт людини з відкритим полум'ям пожежі навіть при короткочасному впливі полум'я призводить до загибелі.

Підвищена температура. З літературних даних відомо, що температура в будівлях при пожежах досягає 1100 °С, що перевищує максимально допустимий рівень для виживання протягом не більш за одну хвилину. Пошкодження верхніх дихальних шляхів викликає разом з припиненням доступу повітря задуху і смерть [4]. Навіть дія температури понад 100 °С приводить до втрати свідомості у людини і загибелі через декілька хвилин. Встановлено, що час в декілька хвилин є допустимою межею для людини (Табл.1)

Табл. 1. Час дії температури, що викликає ступені опіку в сухій атмосфері

Час дії температури на людину, с	Температура навколишнього середовища, °С
Менш 1	1093
3	371 – 482
7	176
15	100
26	71 – 82

За даними [4], при щільності теплового потоку випромінювання 4,18

КВт/м² відчуття болю виникає через 10 – 20 с, а при 7,28 КВт/м² через 10 – 12 с на шкірі утворюються міхури. Велика різниця в приведених даних є слідством того, що перенесення людиною високої температури докілья визначається значною мірою її вологістю.

Димоутворююча здатність і їх токсичність. Проведеними дослідженнями встановлено, що в продуктах горіння, що виділяються на пожежах, міститься до 100 видів хімічних сполук, які можуть надавати токсичну дію на людину. Продукти згорання, що виділяються при пожежах, можна розділити на три основні групи: гази, розчинні у воді; тверді частки; нерозчинні гази [4].

У таблиці. 2 приведені результати узагальнення літературних даних по впливу окислу вуглецю на людину.

Табл. 2. Вплив окислу вуглецю на людину залежно від концентрації і тривалості дії

Концентрація CO ₂ , %	Час дії, хв.	Ефект	Вміст (CO) в крові %
0,005	480	Без ефекту	10
0,01	480	Летальний результат	60 – 70
0,02	120	Слабкий	20
0,08	60...120	Летальний результат	60 – 70
0,10	60	Сильний	40
0,16	30	Летальний результат	60 – 70
0,3	Несколько минут	Летальний результат	60 – 70
0,5	20	Летальний результат	60...70
1	1	Летальний результат	80

У таблиці. 3 показаний ефект дії CO₂ на людину.

Таблиця. 3. Вірогідний фізіологічний ефект при підвищенні концентрації

Концентрація CO ₂ у повітрі що вдихується, %	Час дії, хв.	Ефект
0,5	480	Почастішання дихання
3,2	60 – 120	Летальний результат
4,0	30	Летальний результат

5,0 8 – 10 10...12	5 Декілька хвилин Декілька хвилин	Летальний результат Летальний результат Летальний результат
--------------------------	---	---

У таблиці. 4 показаний ефект дії на людину знижених концентрацій O₂.

Табл. 4. Вплив зниженої концентрації O₂ в повітрі на людину

Кисень, %	Хворобливі симптоми
17	Погіршення рухомої функції, порушення мускульної координації, скрута мислення, притуплювання уваги.
15	Скрута дихання, поява запаморочення і головного болю, втрата мускульного контролю
12	Поява недостатності дихання, почастишання пульсу і частоти дихання, швидка стомлюваність, втрата мускульної координації рухів, прикладання зусиль для розумового зосередження, можливість незворотних процесів в мозку
10	Виникнення блювоти і настання паралічу рухів, стан оп'яніння, синюшність
6	Неясність свідомості, пошкодження центральної нервової системи, судоми, синюшність і втрата свідомості
0	Втрата свідомості, припинення дихання, через 6 – 8 мін зупинка серця

Для вирішення цього завдання розділимо конструктивними заходами (протипожежними перекриттями) на декілька відсіків. Для будівлі в 24 поверхи (рис. 1) визначимо три відсіки: підземна частина – стоянка автомобілів; перша частина – наступний відсік надземна частина у вигляді торгівельних приміщень; третій відсік – житлові приміщення.

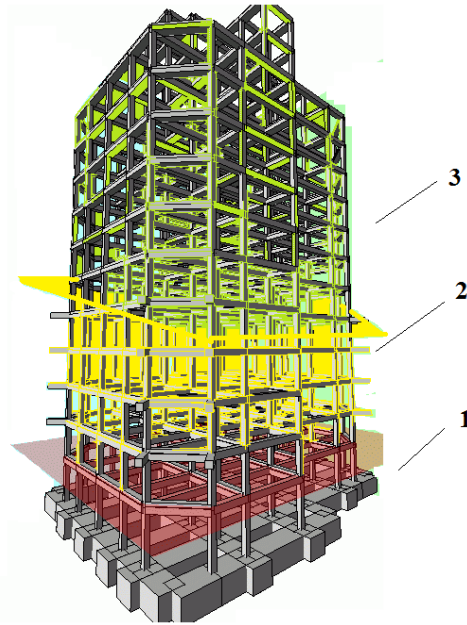


Рис. 1 Розділення висотної будівлі на протипожежні відсіки

Враховуючи особливості розвитку пожеж у висотних будівлях, пропонується використати протипожежні перекриття як бар'єри на шляху поширення пожежі по висоті будівлі, обмежуючи його поширення в межах одного пожежного відсіку. Для тимчасових характеристик динаміки розвитку пожежі оцінимо величину пожежного навантаження у виділених відсіках. Це навантаження складають:

у підземній частині – автомобілі, що зберігаються, і мотоцикли;

у торговельній частині – предмети торгівлі (частково в горючій упаковці);

у житлових приміщеннях – побутові меблі і устаткування. Для характеристики динаміки розвитку пожежі розрахуємо величину пожежного навантаження у відсіках висотної будівлі. Результати розрахунків приведені в таблиці. 5.

Табл. 5. Пожежне навантаження у відсіках висотної будівлі

Протипожежний відсік	Сума пожежного навантаження, МДж
Підземний гараж	$Q = 1642314,6$
Торговельна частина	$Q = 7089250$
Житлова частина	$Q = 2380322$

На підставі отриманих даних (таблиця. 5) вироблена оцінка часу вступу

небезпечних чинників пожежі у відсіки висотної будівлі. Динаміка розвитку пожежі у відсіках розраховувалася з метою прогнозування температурного режиму і динаміки поширення диму по методу FDS. Програмний комплекс FDS (Fire dynamics Simulator) створений NIST (Національним інститутом стандартів і технології США) для польового математичного моделювання пожежі [6, 7], за допомогою якої можлива чисельна реалізація з подальшою візуалізацією полів температур, концентрацій парів горючих речовин, концентрацій кисню і продуктів горіння в кожній точці простору будівлі. FDS розроблено як інструмент для вивчення фундаментальних процесів при пожежі і для вирішення прикладних завдань пожежонебезпеки. У нашому випадку програма використана для передбачення часу настання небезпечних чинників пожежі для евакуації людей.

Системою нестационарних рівнянь в FDS є вираження фундаментальних законів фізики: збереження маси, імпульсу і енергії [3, 6].

Рівняння збереження маси газової суміші має наступний вигляд:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho w_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho w_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w_z) = 0 \quad (1)$$

де ρ – щільність, кг/м³; τ – час, с; x, y, z – координатні осі уздовж довжини, ширина і висоти приміщення відповідно, м; w_x, w_y, w_z – проекції швидкості на відповідні осі, м/с.

Рівняння збереження кількості руху в скалярному вигляді розпадається на три рівняння руху уздовж координатних осей з врахуванням коефіцієнта турбулентної в'язкості. Рівняння збереження енергії є математичним вираженням закону збереження і перетворення енергії.

Рівняння оптичної щільності диму:

$$\frac{\partial S_{op}}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial S_{op}}{\partial x} + w_y \frac{\partial S_{op}}{\partial y} + w_z \frac{\partial S_{op}}{\partial z} = q_s \quad (2)$$

де S – оптична щільність диму, Нп/м; q_s – інтенсивність внутрішніх

джерел оптичної щільності диму, що утворюється при горінні, $\text{Нп}/(\text{с}\cdot\text{м})$.

Модель горіння, вживана нами в FDS, враховує одноступінчасту хімічну реакцію. Розраховуються два компоненти суміші: масова доля незгорілого палива і масова доля згорілого палива.

Променистий теплообмін в процесі розвитку пожежі враховується за допомогою перенесення випромінювання для сірого газу.

У моделі пожежі в програмному комплексі FDS система рівнянь апроксимована на лінійній сітці. Горючі матеріали будівельні конструкції задані теплофізичними характеристиками і інформацією про їх пожежну небезпеку. Використано чотирьох типів теплових граничних умов: тверда поверхня заданої температури, тверда поверхня, що піддається дією конвекційного теплового потоку, термічно товста і термічно тонка тверда поверхня.

Граничні умови, вживані в розрахунках для горючих матеріалів, враховуються для полімерів і целюлозних матеріалів (теплопровідність, теплоємність, щільність і товщина). Вони отримані літературних джерел.

Вихідними даними в комплексі FDS є: температура, оптична концентрація диму. Як проміжні результати присутні: концентрація газової суміші, щільність газу, маса води в одиниці об'єму.

Швидкість тепловиділення є початковою величиною при прогнозуванні розвитку пожежі в будівлі. Фундаментальне рівняння, що зв'язує її із швидкістю вигорання, має вигляд:

$$Q_{\text{пож}} = \psi \eta Q_{\text{н}} \cdot \quad (3)$$

де η – коефіцієнт повноти згорання; $Q_{\text{н}}$ – питома нижня теплота згорання, Дж/кг; ψ – швидкість вигорання матеріалу, кг/с.

Швидкість тепловиділення є початковою величиною при прогнозуванні розвитку пожежі, що дозволяє оцінювати швидкість поширення полум'я по поверхні матеріалів, зміну площі пожежі, збільшення температури в

замкнутому об'ємі, допустимий час евакуації, витрату вогнегасних речовин.

Ці параметри розраховані для виділених пожежних відсіків.

Результати моделювання для визначення температурного режиму на поверсі офісного відсіку показано на рис. 3.

З аналізу пожеж відомо, що критичне значення температури в приміщенні досягається через 2,5-3 хв. від моменту виникнення пожежі.

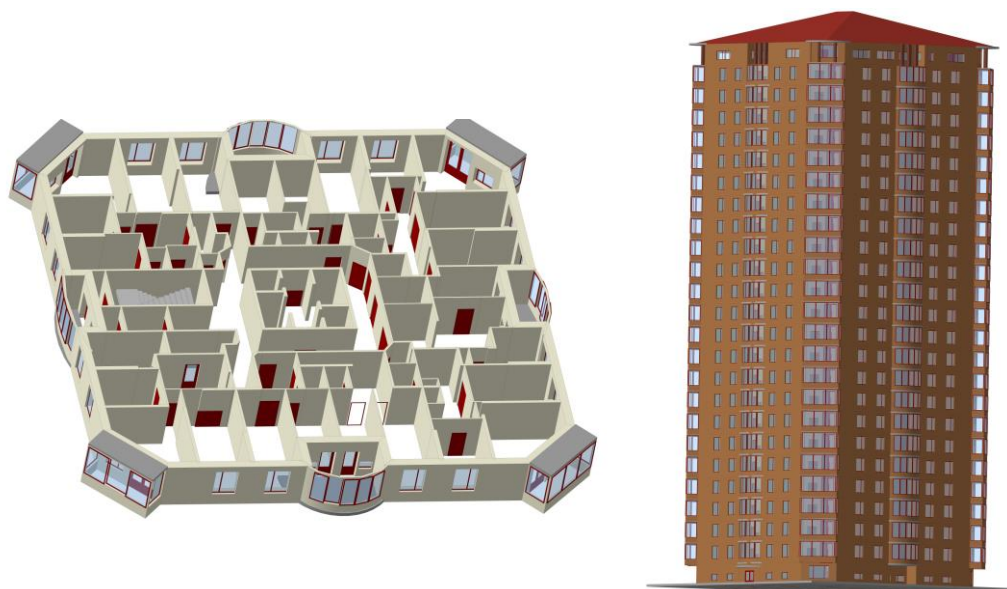


Рис. 2. Модель поверху і будівлі

Висновки. Виконана оцінка динаміки пожежі у висотній будівлі обґрунтовує необхідність створення систем протипожежного захисту висотних систем, що забезпечують безпечну евакуацію людей за період не більше трьох хвилин після виникнення пожежі.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3855-99. Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення.- Затверджені наказом Держстандарту України № 120 від 19.03.99 року.
2. Les Statistiques des Services d'Incendie et de Secours – Edition 2016. Режим доступу: <https://www.interieur.gouv>.
3. Рябова І.Б. Термодинаміка і теплопередача / І. Б. Рябова, І.В. Сайчук, А.Я. Шаршанов // Харків, Академія пожежної безпеки МВС України.–2002. – 352

с.

4. Воробієнко П.П. Безпека життєдіяльності / П.П. Воробієнко, П.П. Захарченко, Л.В. Орел // Одеса, Національна академія зв'язку ім. О.С. Попова.- 2013. – 75с.

5. Аналіз масиву карток обліку пожеж [електронний ресурс], <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>.

6. Kevin M., Klein B., Hostica S., Floyd D. / Fire Dynamics simulator (FDS Software. Version 5) User's Guide // National institute of standart and tehcnology, USA. 2007, 186 p. [електронний ресурс], <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07053.pdf>.

7. Kevin M. Baum H., Rehm R., Mell W., McDermott R. Fire Dynamics Simulator (version 5). Technical Reference Guide-NIST Special Publication 1018-5. National Institute of Standards and Technology, 2009, 117 p. [електронний ресурс], <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07048.pdf>.

8.

Хилько Ю.В., Тригуб В.В., Грицина И.Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Произведена оценка времени поступления опасных факторов пожара в отсеки высотного здания. Динамика развития пожара в отсеках рассчитывалась с целью прогнозирования температурного режима и динамики распространения дыма.

Ключевые слова: высотные здания, пожар, эвакуация людей, дымообразующая способность и их токсичность.

Хілько Ю.В., Тригуб В.В., Грицина І.М.

МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ З ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ПРИ ПОЖЕЖІ

Зроблено оцінку часу надходження небезпечних факторів пожежі в відсіки висотної будівлі. Динаміка розвитку пожежі у відсіках розраховувалася з метою прогнозування температурного режиму і динаміки поширення диму.

Ключові слова: висотні будівлі, пожежа, евакуація людей, димоутворююча здатність і їх токсичність.

Khilko Yu.V., Trigub V.V., Gritsina I.N.

A DESIGN OF SAFE EVACUATION OF PEOPLE IS FROMPITCH BUILDING AT FAIRE

The time of receipt of dangerous fire factors in the sections of a high-rise building was estimated. The dynamics of fire development in compartments was calculated with the aim of predicting the temperature regime and the dynamics of smoke propagation.

Key words: high-rise buildings, fire, evacuation of people, smoke-forming ability and their toxicity.