

УДК 614.841

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2020.4.1.-80-85>

*С. В. Цвіркун, кандидат технічних наук, доцент, М. Ю. Удовенко,  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОЖЕЖІ В НАВЧАЛЬНІЙ АУДИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ BlenderFDS

*Розглянуто основні підходи по розрахункам небезпечних чинників пожежі. Проведено порівняльний аналіз результатів розрахунків, що проводились з використанням методик, які перелічені в ДБН 8828:2019 "Пожежна безпека. Загальні положення". Проведено натурний експеримент по евакуації з навчальної аудиторії, результати якого порівнюються з розрахунковими даними. Обґрунтовано виконання усіх етапів розрахунків небезпечних чинників пожежі за допомогою відкритого безкоштовного програмного забезпечення. Представлені результати використання інструментів по візуалізації наборів отриманих даних.*

**Ключові слова:** небезпечні чинники пожежі, евакуація при пожежі, BlenderFDS, натурний експеримент

Кожна будівля або споруда має об'ємно-планувальні і конструктивні рішення для евакуаційних шляхів, що забезпечують безпечну евакуацію людей при пожежі. Вчасна евакуація людей з будинків, споруд та будівель при пожежі забезпечується, якщо інтервал часу від моменту виявлення пожежі до завершення процесу евакуації людей в безпечну зону не перевищує *необхідного часу евакуації*. Необхідний час евакуації - час з моменту виникнення пожежі, протягом якого повинна завершитися евакуація в безпечну зону без загрози шкоди життю і здоров'ю людей в результаті впливу небезпечних чинників пожежі. До небезпечних чинників належать, перш за все, підвищена температура повітря та задимлення. Щоб розрахувати температуру повітря і вміст у повітрі небезпечних домішок використовуються три основних групи математичних моделей: інтегральні, зонні та польові.

Інтегральна модель пожежі в своїй основі представлена системою звичайних диференціальних рівнянь. Вона використовує один контрольний об'єм для кожного приміщення і дозволяє передбачити усереднені умови в контрольному об'ємі і умови у віддалених від пожежі місцях.

Основа зонної моделі пожежі в загальному випадку становить сукупність кількох систем звичайних диференціальних рівнянь. Параметри стану середовища в кожній зоні є шуканими функціями.

Найбільш складною в математичному відношенні є польова модель. Її основу складає система рівнянь в приватних похідних, що описують просторово-часовий розподіл температур і швидкостей газового середовища в приміщенні, концентрацій компонентів цього середовища (кисень, оксид і діоксид вуглецю тощо), тисків і щільності. У зв'язку з цим, польові моделі дуже вимогливі до обчислювальних ресурсів [1].

Враховуючи те, що розрахунок часу евакуації і розповсюдження небезпечних чинників пожежі для будівель з великою площею або складним плануванням може бути кропітким та ресурсоємним процесом, то для проведення таких розрахунків доречним є використання обчислювальної техніки та спеціального програмного забезпечення.

Для досягнення нашої мети, а саме розрахунок часу евакуації з навчальної аудиторії, ми вирішили використати такі програмні засоби: BlenderFDS, Fire Dynamics Simulator (FDS), Smokeview, мову

програмування Python та бібліотеки до неї Pandas і Matplotlib.

Головною причиною чому був обраний саме такий набір технологій є те, що всі вони безкоштовні і забезпечують високу якість результатів.

Так BlenderFDS - це безкоштовний програмний засіб для моделювання тривимірного простору. Він дозволяє моделювати будівлі будь-якої складності, а після створення самої моделі згенерувати відповідний файл для проведення розрахунків в FDS.

Бібліотеки до Pandas та Matplotlib використовуються, відповідно, для обробки масиву отриманих даних, та їх візуалізації [6].

Об'єктом дослідження є навчальна аудиторія. На її прикладі був проведений розрахунок необхідного та розрахункового часу евакуації програмним комплексом FDS [3] (польова модель пожежі), об'ємна модель самого приміщення створена в BlenderFDS [4].

У розрахунку використовувалось стандартне пожежне навантаження «адміністративні приміщення, навчальні класи шкіл, ВНЗ, кабінети поліклінік» [1]:

- нижня теплота згоряння 14 МДж/кг;
- лінійна швидкість поширення полум'я 0,0045 м/с;
- питома масова швидкість вигорання 0,0137 кг/м<sup>2</sup>с;
- димоутворююча здатність 47,7 Нпм<sup>2</sup>/кг;
- споживання кисню 1,369 кг/кг;
- виділення вуглекислого газу 1,478 кг/кг;
- виділення чадного газу 0,03 кг/кг;
- виділення хлористого водню 0,0058 кг/кг.

Результати, отримані інтегральним методом, [2] наведені в таблиці 1.

Для отримання результатів польовою моделлю в програмі BlenderFDS [4] (рис. 1) була спроектована навчальна аудиторія, а в FDS - описана реакція, поверхня і джерело загоряння згідно даних про пожежну навантагу [1].

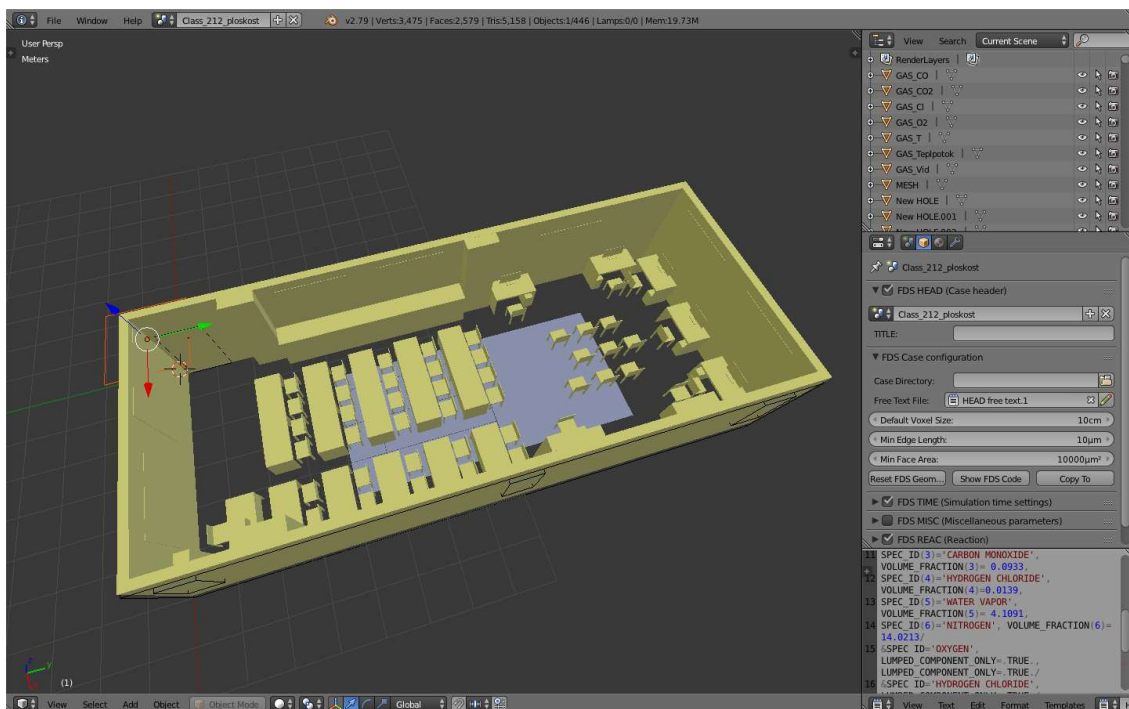


Рисунок 1 – Модель приміщення в графічному редакторі BlenderFDS.

Для обліку даних небезпечних чинників пожежі біля евакуаційного виходу на рівні 1,7 м був встановлений віртуальний датчик. Час моделювання 300 с. Для

обробки отриманих даних використовувались інструменти описані в [6].

Результати отриманих розрахунків представлені нижче на рисунках.

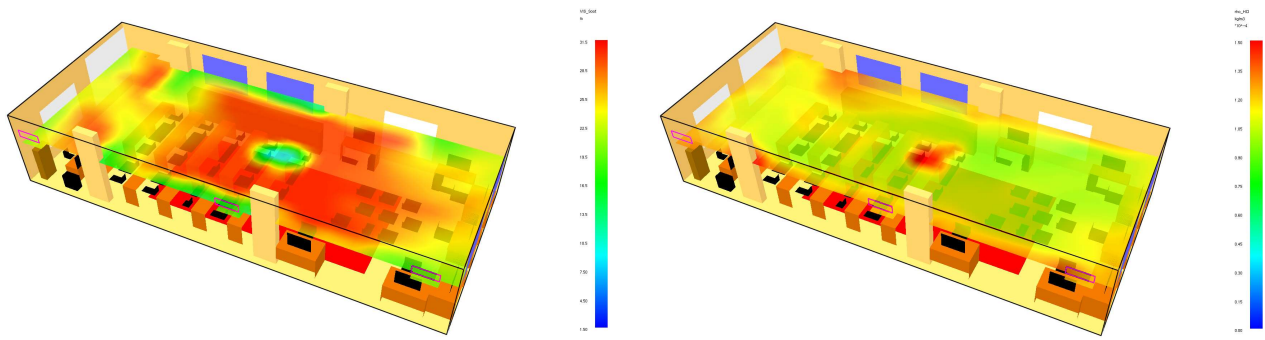


Рисунок 2 – Розподіл полів видимості та концентрації HCl в приміщенні.

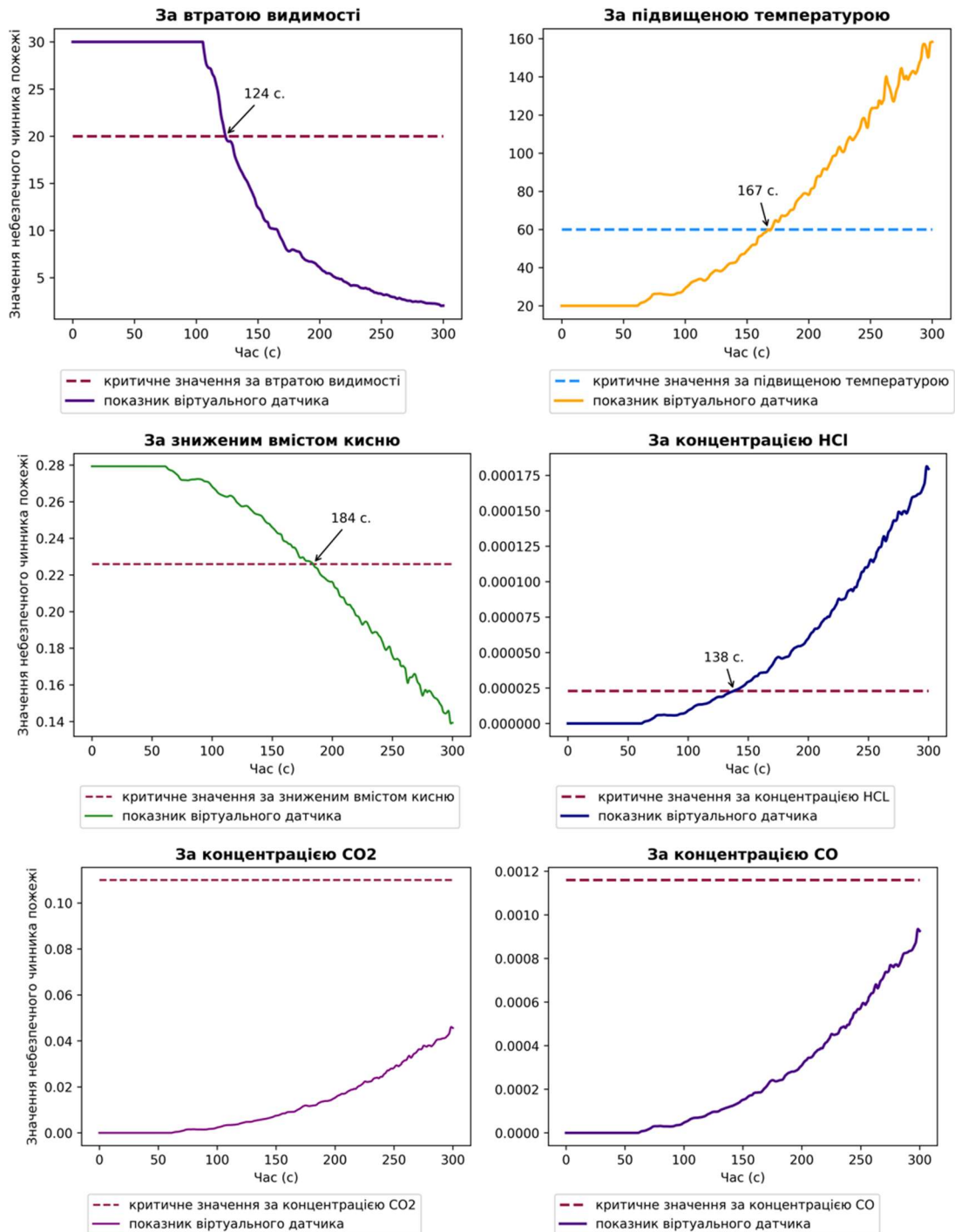


Рисунок 3 – Графіки розповсюдження небезпечних чинників пожежі.

Після проведення розрахунку необхідного часу евакуації потрібно визначити розрахунковий час евакуації з навчальної аудиторії. Розрахунок проводився за спрощеною аналітичною

моделлю руху згідно ДСТУ 8828:2019 "Пожежна безпека. Загальні положення" [2] та математичною моделлю індивідуально-потокowego руху [2], яка реалізована програмним комплексом Pathfinder [5].

Таблиця 1. – Час досягнення небезпечного чинника пожежі

Модель розрахунку	Час досягнення небезпечного чинника пожежі						Необхідний час евакуації
	Втрата видимості	Підвищена температура	Знижений вміст кисню	Вміст CO	Вміст CO <sub>2</sub>	Вміст HCl	
Інтегральний метод	110	157	156	283	408	122	88
Польовий (FDS)	124	167	184	-	-	138	99,2

Спрощена аналітична модель руху людського потоку. Розбивши весь шлях руху на ділянки і визначивши параметри руху людей на кожній ділянці визначили розрахунковий час евакуації людей рівний **78,6** секунди.

Модель індивідуально-потокowego руху. В програмному комплексі Pathfinder [5] була побудована модель аудиторії і задані необхідні параметри.

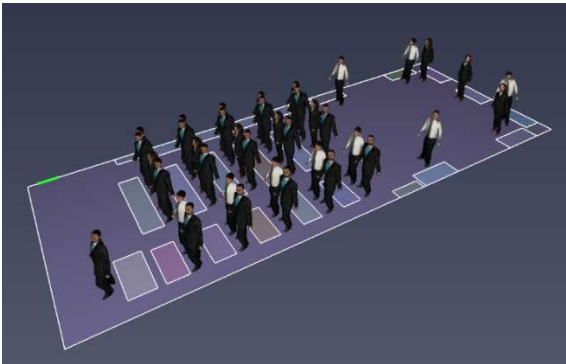


Рисунок 4 – Розміщення людей в навчальній аудиторії для моделювання в Pathfinder та початок евакуації.

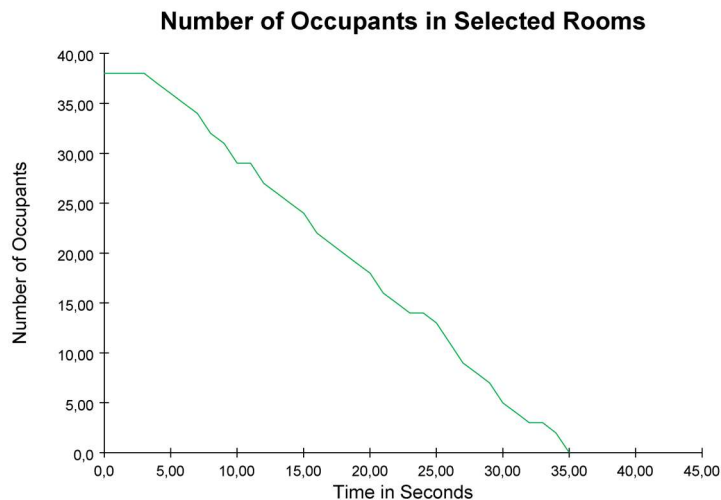


Рисунок 5 – Динаміка евакуації людей з навчальної аудиторії.

Розрахунковий час евакуації по [5] склав **36** секунд.

Як бачимо, різниця між двома розрахунками досить помітна. На підтвердження точності тієї чи іншої методики було прийнято рішення провести натуральний експеримент з вимірюванням часу евакуації з аудиторії.

Експериментально встановлено, що час евакуації з аудиторії склав **34,8** секунди.

### **Висновки**

Із вступом в дію ДСТУ 8828:2019 "Пожежна безпека. Загальні положення" [2] розширився набір офіційно визнаних методик для розрахунків часу блокування шляхів евакуації та розрахункового часу евакуації. Завдяки цьому фахівці отримують можливість проводити розрахунки враховуючи специфічні особливості об'ємно-планувальних рішень будівлі, а також особливості контингенту людей, що знаходяться в ній.

Використання польових моделей для чисельного моделювання дозволяє не тільки прогнозувати розвиток пожежі, але і проводити аналіз на предмет виявлення слабких місць будівель з точки зору пожежної безпеки, а також відновлювати

картину вже минулої пожежі (причин пожеж) [7].

Також польова модель пожежі може ефективно використовуватися при розрахунках меж вогнестійкості будівельних конструкцій будівлі, дозволяючи визначити реальну температуру під час пожежі для конструктивних елементів будівлі з урахуванням конкретної пожежної навантаги, на противагу застосування для розрахунків температури стандартного режиму пожежі.

Програмний комплекс BlenderFDS функціонально забезпечує вирішення поставлених завдань на етапі 3D-моделювання. Даний комплекс доцільно використовувати для проведення досліджень та експериментів в наукових установах та закладах вищої освіти ДСНС України.

Таким чином, у даній статті проведений порівняльний аналіз усіх методик розрахунку небезпечних чинників пожежі та часу евакуації, які надаються в [2]. Результати теоретичних розрахунків були порівняні з результатами натурального експерименту.

## **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

2. ДСТУ 8828-2019 Пожежна безпека. Загальні положення. – К.: УкрНДНЦ, 2019. – 151 с.

3. FDS-SMV [Електронний ресурс] // National Institute of Standards and Technology (NIST) of the United States Department of Commerce: [веб сайт]. – Режим доступу: <https://pages.nist.gov/fds-smv/>, вільний. – Назва з екрана.

4. BlenderFDS [Електронний ресурс] // Italian Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation : [веб сайт]. – Режим доступу: <https://firetools.github.io/blenderfds/>, вільний. – Назва з екрана.

5. Pathfinder // Thunderhead Engineering software: [офіційний веб

портал]. – Режим доступу: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>, вільний. – Назва з екрана.

6. Удовенко М. Ю., Цвіркун С. В., Розробка програмного засобу для обробки та візуалізації результатів розрахунків здійснених у Fire Dynamics Simulator/ Удовенко М. Ю., Цвіркун С. В. // Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація : зб. наук. пр. / ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України – Черкаси – 2019. – 5. – с. 69-77.

7. Цвіркун С. В., Удовенко М. Ю. Застосування програмного комплексу FDS для визначення осередку пожежі / Цвіркун С. В., Удовенко М. Ю. // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві : зб. наук. пр. / Луц. нац. техн. ун-т. – Луцьк: – 2019. – 11. – с. 148-159.

## REFERENCES

1. Koshmarov, Y.A. 2000. Prognosis of dangerous fire factors in room. Moscow. Academy of State Fire Service [in Russian].
2. DSTU 8828-2019 Pozhezhna bezpeka. Zagal'ni polozhennja. – K.: UkrNDNC, 2019. – 151 s. [in Ukrainian].
3. FDS-SMV. Retrieved from: <https://pages.nist.gov/fds-smv/> [in English].
4. BlenderFDS. Retrieved from: <https://firetools.github.io/blenderfds/> [in English].
5. Pathfinder. Retrieved from: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/> [in English].
6. Udovenko, M.Y., & Tsvirkun, S.V. (2019). *Development of software for preprocessing and visualisation calculations made in Fire Dynamics Simulator*. Cherkasy. Cherkasy institute of fire safety named after Chernobyl Heroes NUCD of Ukraine [in Ukrainian].
7. Tsvirkun, S. & Udovenko, M. (2019). *Application of the FDS software to determine fire exchange*. Lutsk. Lutsk national technical university [in Ukrainian].

*Tsvirkun S. V., Ph.D., Associate Professor, Udovenko M. Y., Cherkassy institute of fire safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine*

## CLASSROOM FIRE MODELING BY USING BlenderFDS

*The article considers the comparison of the combustion heat and other fire hazards calculation methods. Made comparative analysis across the methodologies described in Ukrainian state building code 8828:2019 “Fire safety. General regulations”. Conducted the field experiment on evacuations of students from classroom. The experimental results were compared with the theoretical calculations. Proved the advantages of using the open freeware software for calculating fire hazards and 3D-modeling of buildings. Represented the results of usage of data visualization tools.*

*The enacting of Ukrainian state building code 8828:2019 expanded the number of formally recognized methodologies of calculation of evacuation time in case of fire and the time of escape routes lockup. Due to this building code experts have got a possibility to consider the specific characteristics of buildings and the features of different groups of people that are in these buildings.*

*By using field model for numerical simulation, we can analyze if building has any weaknesses, forecast the spreading of fire and reconstruct the scene of the fire to determine the causes of this fire.*

*The field model also applies for effective calculation of buildings fire resistance*

*level. This allows to determine the real temperature during the fire and its influence on construction elements depending on exact fire load. This model is more effective and more accurate in comparison with standard fire regime model.*

*The BlenderFDS application allows to create 3D models and convert them to format, supported by Fire Dynamic Simulator. It preferable to use for scientific researches in educational institutions as it is freeware and cross platform application.*

*In addition to using freeware software for calculations, we developed custom application for result data visualization. This application expands the functions of SmokyView in case of building featured line charts.*

*The results of all numerical calculations of evacuation time were compared with the results of field experiment.*

*The combined usage of numerical calculations and field experiments is a future perspective in our researches of fire safety of buildings.*

**Keywords:** *fire hazards, evacuation in case of fire, BlenderFDS, field experiment.*