

Технічні науки

УДК 004.9

**Нуянзін Олександр Михайлович**

*кандидат технічних наук, доцент, начальник лабораторії  
Науково-дослідна лабораторія інновацій у сфері цивільної безпеки  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

**Нуянзин Александр Михайлович**

*кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории  
Научно-исследовательская лаборатория инноваций  
в сфере гражданской безопасности  
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля  
Национального университета гражданской защиты Украины*

**Nuianzin Oleksandr**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Laboratory  
Research Laboratory of Innovations in the Field of Civil Security  
Cherkasy Heroes of Chernobyl Fire Safety Institute  
National University of Civil Defense of Ukraine*

*ORCID: 0000-0003-2527-6073*

**Самченко Тарас Васильович**

*старший науковий співробітник відділу речовин і матеріалів  
Науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень  
з цивільного захисту*

**Самченко Тарас Васильевич**

*старший научный сотрудник отдела веществ и материалов  
Научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований  
по гражданской защите*

**Samchenko Taras**

*Senior Research Fellow, Department of Substances and Materials  
Research and Testing Center  
Institute of Public Administration and Civil Defense Research  
ORCID: 0000-0003-3702-8296*

**Бедратюк Ольга Іванівна**

*завідувач сектору системи якості  
Інститут державного управління та наукових досліджень  
з цивільного захисту*

**Бедратюк Ольга Ивановна**

*заведуючий сектора системы качества  
Институт государственного управления и научных исследований  
по гражданской защите*

**Bedratyuk Olga**

*Head of the Quality System Sector  
Institute of Public Administration and Civil Defense Research  
ORCID: 0000-0002-0642-9399*

**Алімов Богдан Олександрович**

*молодший науковий співробітник відділу систем протипожежного захисту  
науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень  
з цивільного захисту*

**Алимов Богдан Александрович**

*младший научный сотрудник отдела систем противопожарной защиты  
научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований  
по гражданской защите*

**Alimov Bogdan**

*Junior Researcher Department of Fire Protection Systems*

*Scientific and Testing Center*

*Institute of Public Administration and Research on Civil Protection*

*ORCID: 0000-0003-0248-7003*

**АНАЛІЗ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ CFD ТА FEM З ЇХНЬОЮ  
ХАРАКТЕРИСТИКОЮ  
АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЯ CFD И FEM С ИХ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
ANALYSIS OF CFD AND FEM APPLICABLE PROGRAMS WITH  
THEIR CHARACTERISTICS**

***Анотація.** Обґрунтовано програмний комплекс для створення сітки, який використовує підхід та віддає переваги простій прямокутній сітці з гнучкістю деформованих сіток у прикладних програмах.*

***Ключові слова:** комп'ютерні програми, універсальні програмні системи, автоматичні інженерні розрахунки.*

***Аннотация.** Обоснованно программный комплекс для создания сетки, использующий подход и отдает преимущества простой прямоугольной сетке с гибкостью деформированных сеток в прикладных программах.*

***Ключевые слова:** компьютерные программы, универсальные программные системы, автоматические инженерные расчеты.*

***Summary.** A software package for creating a grid is substantiated, which uses the approach and prefers a simple rectangular grid with the flexibility of deformed grids in applications.*

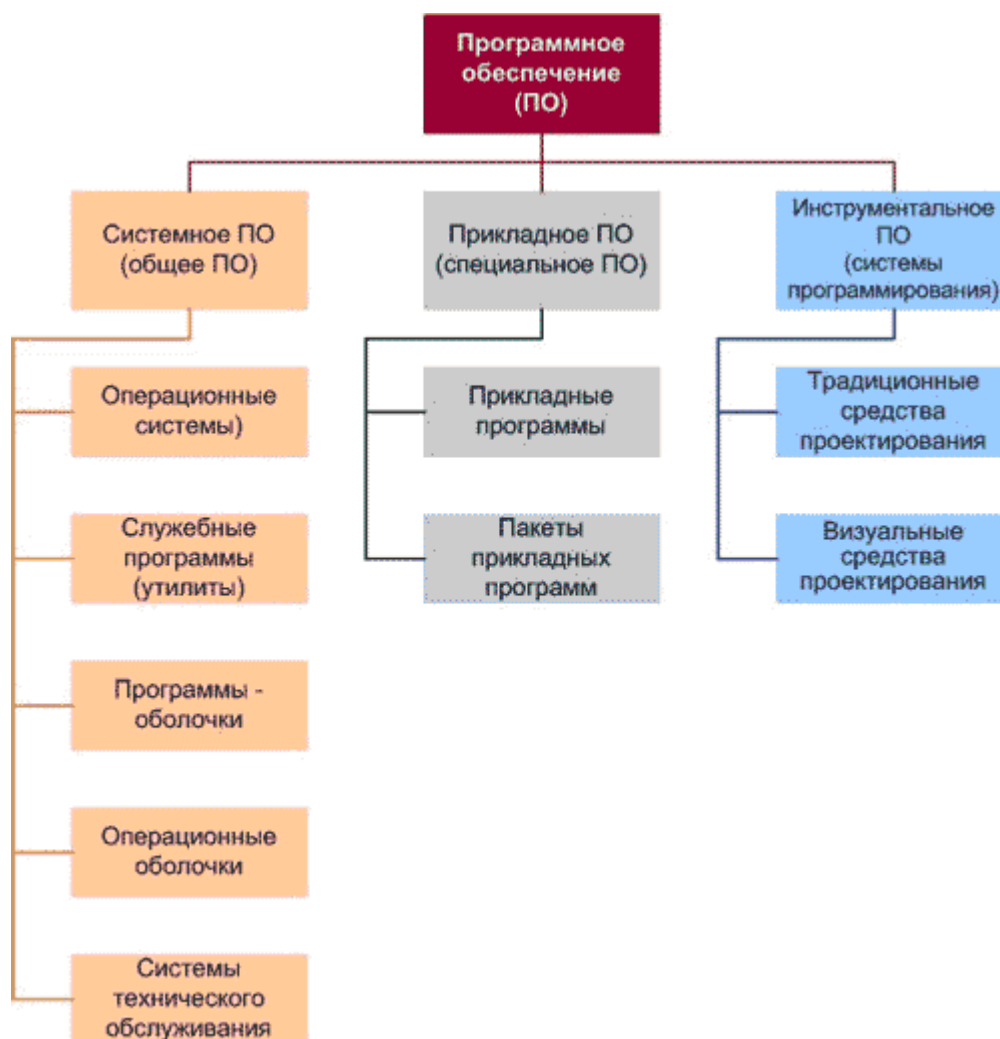
**Key words:** *computer programs, universal software systems, automatic engineering calculations.*

Комп'ютер є універсальним інструментом для виконання будь-яких дій з інформацією. Але для цього необхідно написати для комп'ютера на зрозумілій йому мові інструкцію - програму, що пояснює як саме потрібно обробити інформацію. Адже, сам комп'ютер абсолютно не володіє ніякими знаннями – вони всі знаходяться у виконуваних на ньому програмах. З розширенням можливостей комп'ютера, відповідно потребується все більш різноманітне програмне забезпечення (ПЗ) для вирішення тих або інших завдань.

Підвищення потужності комп'ютерів, різноманітність засобів зв'язку, доступність використання Інтернету, а також периферійних пристроїв дає розробникам ПЗ широке коло дій для максимального задоволення запитів користувачів. Отже, програмне забезпечення - комп'ютерні програми і дані, призначені для розв'язку певного кола завдань і зберігаються в цифровому вигляді.

Розглянемо комп'ютерні програми, що найчастіше використовують дослідники у своїх роботах [1-22].

ANSYS – універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу, існує і розвивається протягом останніх 30 років, є досить популярною у фахівців у сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), задачі механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів.



Моделювання і аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектуювання – виготовлення – випробування». Система працює на основі геометричного ядра Parasolid, що представлено в [23].

Програмна система кінцево-елементного аналізу ANSYS розробляється американською компанією ANSYS Inc. Компанія також випустила інші системи кінцево-елементного моделювання, в тому числі DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICEM CFD); призначені для використання в більш специфічних галузях виробництва.

Як стратегічний партнер фірма співпрацює з багатьма компаніями, допомагаючи їм провести необхідні зміни. Запропоновані фірмою ANSYS Inc. засоби чисельного моделювання та аналізу сумісні з деякими іншими

пакетами, працюють на різних ОС. Програмна система ANSYS сполучається з відомими CAD-системами Unigraphics, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks , Autodesk Inventor та деякими іншими [24].

Програмна система ANSYS є досить відомою CAE-системою, яка використовується на таких відомих підприємствах, як ABB, BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, БелАЗ, General Electric, Lockheed Martin, MeyerWerft, Mitsubishi, Siemens, Alfa Laval, Shell, Volkswagen - Audi та ін.

ANSYS дозволяє вирішувати завдання в наступних областях:

- міцність;
- теплофізика;
- електромагнетизм;
- пов'язані багатодисциплінарного завдання, наприклад термоміцність, магнітопружність, аеропружність.

ANSYS ICEM CFD - потужний сітковий генератор для побудови як структурованих так і неструктурованих розрахункових сіток. Підтримує імпорт вихідної геометрії з різних CAD-продуктів і, крім того, має широкий набір функцій для її виправлення та доопрацювання. Також має ряд методів для побудови неструктурованих розрахункових сіток (триангуляція Делоне, метод Octree, метод просування фронту). У поєднанні з інструментами локального змінення розмірів осередків, вони дозволяють домогтися високої якості розрахункової сітки практично для будь-якої форми досліджуваного об'єкта.

ANSYS ICEM CFD дозволяє будувати блочно-структуровані розрахункові сітки, які, як відомо, краще неструктурованих для деяких типів розрахунків (надзвукові і гіперзвукові течії). Процес побудови структурованих сіток заснований на технології трансфінітної інтерполяції і

полягає в створенні блокової структури, асоціації блокової структури з вихідної геометрією і завдання згущення [25-28].

Перша версія FDS офіційно була випущена в лютому 2000 року. На сьогоднішній день приблизно половина додатків моделі служить для проектування систем управління димом і вивчення активації спринклерів і детекторів. інша половина служить для відновлення картини пожежі в житлових і промислових приміщеннях.

Основною метою FDS протягом свого розвитку було рішення прикладних задач пожежної безпеки та в той же час забезпечення інструментом для вивчення фундаментальних процесів при пожежі.

Програма FDS (Fire Dynamics Simulator) реалізує обчислювальну гідродинамічну модель (CFD) тепломасопереносу при горінні. FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурно-залежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму і теплопередачі при пожежі.

Smokeview (SMV) - програма для візуалізації результатів розрахунків FDS.

Програми Fire Dynamics Simulator і Smokeview розроблені Національним інститутом стандартів і технології (НІСТ) міністерством торгівлі США за сприяння Технічного науково-дослідного центру VTT (Фінляндія).

FDS і Smokeview - безкоштовне програмне забезпечення. Відповідно до Кодексу США Глава 17 Частина 105 авторські права розробників не захищені, програма є загальнодоступним ПО. НІСТ не несе ніякої відповідальності за використання будь-яких версій вихідних кодів програми, документації або виконуваних файлів і не дає явних або непрямих гарантій на її якість, надійність або інші властивості.



FDS - не проста комп'ютерна програма, що працює за принципом "вказівки і клацання". FDS необхідно запускати з командного рядка, а вхідні параметри повинні бути записані в текстовий файл [29].

FLOW-3D – це CFD пакет загального призначення здатний моделювати різноманітні потоки рідини. Хоча спеціалізацією вищезазначеного даного програмного комплексу є моделювання течій з вільною поверхнею, але FLOW-3D є програмою для моделювання обмежених внутрішніх течій [30].

У даній програмі FLOW-3D є пакет «все включено», який не вимагає жодних додаткових програм. Графічний інтерфейс користувача поєднує постановку завдання (включаючи створення/імпорт геометрії і генерацію сітки), рішення і обробку результатів, пропонуючи також кілька корисних утиліт, як: переглядач STL файлів, розрахунків і засоби контролю над ходом розрахунку.

Відмінні риси FLOW-3D.

По-перше, FLOW-3D – це програмний комплекс для створення сітки, який використовує підхід та віддає переваги простій прямокутній сітці з гнучкістю деформованих сіток. Такий підхід називається “вільне формування сітки” оскільки сітка і геометрія може бути вільно змінені незалежно одна від одної. FLOW-3D використовує фіксовану сітку з ортогональних елементів, що спрощує генерацію і забезпечує багато корисних властивостей (наприклад, регулярність покращує точність, зменшує вимоги до пам'яті, полегшує чисельну апроксимацію).

По-друге, FLOW-3D включає в себе спеціальну техніку, яка включає в себе FAVOR™ (Fractional Area Volume Obstacle Representation) метод, що використовується для опису прямокутної геометричної сітки в довільній формі. Філософія FAVOR™ полягає в тому, що чисельні алгоритми в методі кінцевих обсягів базуються на інформації, що включає лише одне значення тиску, швидкості і температури кожного з елементів, тому було б



нелогічно використовувати докладнішу інформацію для опису геометрії.

По-третє, основною особливістю що відрізняє FLOW-3D, від інших CFD програм у його методі обробки поверхні поточної рідини. Ця програма використовує спеціальні чисельні методи для відстежування становища поверхонь й у правильному застосуванні ними граничних умов. У FLOW-3D, вільні поверхні моделюються за допомогою методу кінцевих обсягів Volume of Fluid (VOF). Деякі з конкурентних CFD програм наголошують на впровадженні VOF методу, хоча реально вони використовують тільки одну чи дві із трьох фундаментальних складових VOF методу [30].

Серед проаналізованих програм більш прийнятною для побудови математичної моделі кабельного тунелю є «Fire Dynamic Simulator 6.2». По-перше, базовими в ній є рівняння Нав'є – Стокса, що описують рух рідин і газів у широкому діапазоні чисел Рейнольдса. По-друге, система дає змогу побудувати геометрію об'єкта без використання спеціальних САД-програм. По-третє, система «FDS» уможливорює легке корегування параметрів тунелю та граничних умов. По-четверте, система «FDS» має розвинений апарат візуалізації отриманих результатів.

### **Література**

1. Hsu W. S. et al. Analysis of the Hsuehshan Tunnel Fire in Taiwan // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017. Т. 69. PP. 108-115.
2. Ji J. et al. Influence of aspect ratio of tunnel on smoke temperature distribution under ceiling in near field of fire source // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Т. 106. PP. 1094-1102.
3. Niu Y., Li W. Simulation Study on Value of Cable Fire in the Cable Tunnel // *Procedia Engineering*. 2012. Т. 43. PP. 569-573.

4. Zhao Y., Zhu G., Gao Y. Experimental Study on Smoke Temperature Distribution under Different Power Conditions in Utility Tunnel // Case Studies in Thermal Engineering. 2018.
5. Tian X. et al. Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends // Applied Thermal Engineering. 2017. T. 116. PP. 233-243.
6. Modic J. Fire simulation in road tunnels // Tunnelling and underground space technology. 2003. T. 18. №. 5. PP. 525-530.
7. Vaari J. et al. Numerical simulations on the performance of water-based fire suppression systems // VTT Technol. 2012. T. 54.
8. Brahim K. et al. Control of Smoke Flow in a Tunnel // Journal of Applied Fluid Mechanics. 2013. T. 6. №. 1.
9. Zhong W. et al. A study of bifurcation flow of fire smoke in tunnel with longitudinal ventilation // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013. T. 67. PP. 829-835.
10. Sun J. et al. Experimental study of the effectiveness of a water system in blocking fire-induced smoke and heat in reduced-scale tunnel tests // Tunnelling and Underground Space Technology. 2016. T. 56. PP. 34-44.
11. Zhang P. et al. Experimental study on the interaction between fire and water mist in long and narrow spaces // Applied Thermal Engineering. 2016. T. 94. PP. 706-714.
12. Experimental study of temperature mode of a fire in a cable tunnel. Nuyanzin, O., Pozdieiev, Samchenko, T. [et al.] // Східно-Європейський журнал передових технологій. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No. 3/10 (93). PP. 21-27.
13. Investigation of the regularities of temperature regime of fire in cable tunnels depending on its parameters / O. Nuianzin, T. Samcnenko, A. Nesterenko [et al.] // MATEC Web of Conferences. Volume 230, 7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway

- Transport Engineering Structures and Buildings" (Transbud-2018), Kharkiv: Ukrainian State University of Railway Transport, 2018. P. 02022.
14. Самченко Т. В. Аналіз математичних моделей тепломасообміну при пожежі у кабельних тунелях // Видавничий дім "Інтернаука" (м. Київ, Україна). 2018. С. 80-85.
  15. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну при пожежі у кабельному тунелі / О. М. Нуянзін, С. В. Поздєєв, Т. В. Самченко, [та ін.] // Вісник НУЦЗ України м. Харків. 2018. С. 119-128.
  16. Дослідження впливу пожежного навантаження на температурний режим пожежі у кабельному тунелі / С. В. Поздєєв, Є. Ю. Шеверєв, Т. В. Самченко, [та ін.] // Науковий вісник УкрНДІПБ, К.: 2018. С.13-20.
  17. Дослідження температурних режимів пожежі у кабельних тунелях за їх різних параметрів / О.М. Нуянзін, Т.В. Самченко, С.В. Поздєєв. [та ін.] Науковий вісник ЦЗ та ПБ № 1(7). УкрНДІПБ, Київ: 2019. С. 13–24.
  18. Динаміка зміни температури у кабельному тунелі // Б.О. Алімов, Т. В. Самченко // Видавничий дім "Інтернаука" (м. Київ, Україна). 2019. С. 21-23.
  19. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну при пожежі у кабельному тунелі. Т.В. Самченко, С.В. Поздєєв, О.М.Нуянзін [та ін.] // Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2018. С. 53-55.
  20. Розробка математичної моделі процесу тепломасопереносу при пожежі у кабельному тунелі. А. В. Перегін, О. М. Нуянзін, Т. В. Самченко, // Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій». Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2019. С. 205–207.

21. Самченко Т.В. Результаты проведенного дослідження ефективності моделювання теплових процесів при пожежі у кабельному тунелі. Т.В. Самченко, С.В. Поздєєв, О.М. Нуянзін. [та ін.] // Матеріали наук.-практ. семінару: Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація. Харків.: НУЦЗ, 2019. С. 147–148.
22. Дослідження з визначення прогнозованого (очікуваного) строку придатності вогнезахисних засобів для дерев'яних конструкцій / О.В. Добростан, В.В. Коваленко, Т.В. Самченко // Науковий вісник УкрНДІПБ, К.:УкрНДІПБ, 2015. № 1(31). С. 140-145.
23. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. М. : ДМК Пресс, 2006. С. 240.
24. Методи математичного моделювання теплових процесів при випробуваннях на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій / О. М. Нуянзін, О. В. Некора, С. В. Поздєєв [та ін.] // Монографія. Черкаси: ЧІПБ ім.Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. 120 с.
25. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. М. : ДМК Пресс, 2006. – С. 240.
26. Ansys Release 10, inc. Theory Reference.
27. Milarcik E. L An Analysis of the Performance of Residential Smoke Detection Technologies Utilizing the Concept of Relative Time / E. L. Milarcik, S. M. Olenick, R. J. Roby // The National Fire Protection Research Foundation Suppression and Detection Research and Applications Symposium (SUPDET), March, 2007. (2007 Carey award).
28. Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. М. : ТЕСИС, 2008. 284 р.
29. Ellen Eberhardt. "PNW - Fire and Environmental Research Applications Team (FERA) Research/Studies.
30. Anthony J. Lockwood, «Editors Pick: Flow Science Release FLOW-3D Version 10.0», Desktop Engineering, August 9, 2011.