

З різних причин (окислення контактів, ослаблення натиску в контактному з'єднанні, вигорання контактних поверхонь) опір петлі "фаза-нуль" може істотно збільшитися. Це приведе до значного зниження струмів при однофазних к.з., відмови апаратів захисту від к.з., виносу небезпечного потенціалу на заземлені корпуси електроустановок, електротравматизму. Для запобігання цьому небезпечному явищу один раз на рік рекомендується вимірювати опір петлі "фаза-нуль" окремих ділянок мережі напругою 380/220 В. Опір вимірюють приладом типу М-417 без відключення джерела живлення. Результати вимірювань дозволяють обчислити необхідне значення струму однофазного к. з. і тим самим перевірити, чи буде спрацьовувати розташований в даному місці захисний пристрій від к. з.

Оскільки пристрої захисту не можуть запобігти появі к.з., а лише можуть своєчасно від'єднати електромережу при виникненні к.з., ми робимо висновок, що запобігання к.з. забезпечується правильним проектуванням, якісним монтажем і технічно грамотною експлуатацією електроустановок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Семочко Г.Ю., Юзьків Т.Б. та ін. Комплексне дослідження пожежі // Навчально-методичний посібник.— Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2001.-79 с.
2. Беляев А.В. Выбор аппаратуры защиты и кабелей в сетях 0,4 кВ. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 172 с.
3. Бойченко В.И. Особенности расчетов токов короткого замыкания в распределительных сетях. — Л.: Энергия, 1995. — 85 с.
4. Симоновский С.Ф. Защита сельских электрических сетей от коротких замыканий и перегрузок. — М.: Колос, 1983. — с. 3 - 18, 48 - 72.
5. Смелков Г.И., Фетисов П.А. Возникновение пожаров от коротких замыканий в электропроводах. — М.: Стройиздат, 1989. — с. 11 - 65.

УДК 539.3:517.958

*Н.П.Кухарська, к.ф.-м.н. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України),
В.М.Кухарський, к.ф.-м.н. (Львівський національний університет імені Івана Франка)*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто застосування прямого методу граничних елементів для визначення статичних напружень конструктивних елементів споруд та пожежної техніки. Показано, що особливу цінність має використання, створеного на основі гранично-елементного підходу, комплексу прикладних програм для розв'язання задач теорії пружності в областях із зонами великих градієнтів напружень.

Головною причиною проведення нами наукових досліджень було прагнення створити високоефективне алгоритмічне та програмне забезпечення розрахунку двовимірних статичних задач пружності, яке б дозволило адекватно реаліям враховувати складну геометрію та різноманітність навантажень. Це зумовлено, в першу чергу, практичними запитами. Оскільки, володіння інформацією про напружено-деформований стан будівельних конструкцій та складових елементів пожежного устаткування, з урахуванням дефектів структури типу тріщин, зовнішніх впливів довільного характеру є вкрай важливим як на етапі їх розробки і проектування, так і для прогнозування довготривалої і безпечної, зокрема при проведенні аварійно-рятувальних робіт та пожежогасіння, експлуатації. Основні результати розв'язання зазначеної проблеми аналітичними методами відображені у низці

монографій і праць [1-5]. Однак, використання класичних алгоритмів дає можливість отримати розв'язок для обмеженого класу задач. Сучасна комп'ютерна техніка сприяє розвитку обчислювальної математики та методів чисельного вирішення проблем конструювання технічних пристроїв. Широко використовуваним засобом чисельного визначення напружень у великій кількості задач служить метод скінчених елементів (МСЕ). Проте, у випадку великих градієнтів напружень, його використання приводить до великої ймовірності появи помилок. Саме такі розрахунки є необхідними у різних застосуваннях методів механіки руйнування, адже коефіцієнти інтенсивності напружень, які певним чином враховують значення напружень, геометричні характеристики і розмір тріщини, можуть бути обчислені за допомогою аналізу напруженого стану конструкцій.

Математичним інструментом чисельного дослідження задач пружності нами вибрано метод граничних елементів (МГЕ). Такий вибір зумовлений притаманними гранично-елементній схемі властивостями високоточного розрахунку задач з великими градієнтами шуканих функцій. Згадана перевага МГЕ є наслідком можливості отримувати величини різного характеру (в нашому випадкові, переміщення та напруження) з однаковим порядком точності.

Постановка задачі та методика досліджень

Розглянемо статичну задачу про плоску деформацію ізотропного однорідного пружного тіла для області $\bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma$ із кусково-гладкою границею $\Gamma = \partial\Omega$. Як відомо, напружений стан ізотропного та лінійно-деформівного тіла в області описується системою рівнянь рівноваги Ляме, геометричними співвідношеннями Коші та фізичним законом Гука [1,3,4]. Нехай задано змішані граничні умови: на частині Γ_1 – зусилля, а на решті границі Γ_2 – переміщення, $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$.

Опис МГЕ міститься у ряді робіт [6-8]. Нижче наведемо основні тотожності методу лише для повноти викладок. Співвідношення між компонентами p_i вектора зусиль на границі і переміщеннями точок границі u_i мають вигляд

$$\bar{c}_{ij}(\xi)u_i(\xi) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x) - \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) + \int_{\Omega} u_{ij}^*(\xi, y)F_j(y)d\Omega(y) \quad i, j = 1, 2 \quad (1)$$

де $\xi, x \in \Gamma$; $y \in \Omega$, $u_{ij}^*(\xi, x)$, $p_{ij}^*(\xi, x)$ – фундаментальні розв'язки, $\bar{c}_{ij}(\xi)$ – так званий, розривний коефіцієнт, який залежить від розташування точки ξ і дорівнює, зокрема, $0,5\delta_{ij}$ для гладкої границі області.

Основні тотожності МГЕ (1) дозволяють за заданими граничними умовами та компонентами масових сил F_j обчислити решту невідомих на границі характеристик.

Алгоритм МГЕ передбачає чисельне перетворення системи сингулярних інтегральних рівнянь (1) до алгебраїчної системи та розв'язання останньої на основі чисельних процедур. Слідуючи методу розрахунку, запропонованому у роботах [7,8], у чисельному алгоритмі та ПЕОМ-програмі ці операції виконуються у три етапи. На першому етапі здійснюється поділ

контуру границі на елементи $\Gamma = \bigcup_{n=1}^{N_e} \Gamma_n$ і $\Gamma_n \cap \Gamma_m = \emptyset$, ($m \neq n$) і покускове моделювання вектора зусиль, переміщень і самого граничного контуру. У наших дослідженнях використовується ізопараметрична (лінійна і квадратична) поліноміальна апроксимація геометрії граничного елемента і шуканих функцій

$$x_i^n = \sum_{k=1}^{N_i^n} \varphi^{kn}(x) x_i^{kn}, \quad N_i^n = 2, 3; \quad i = 1, 2,$$

$$u_i(x) = \sum_{k=1}^{N_i^n} \varphi^{kn}(x) u_i^{kn}, \quad p_i(x) = \sum_{k=1}^{N_i^n} \varphi^{kn}(x) p_i^{kn}, \quad x \in \Gamma_n; \quad N_i^n = 2, 3; \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

де $\varphi^{kn}(x)$ – інтерполюючі лагранжеві функції порядку $N_i^n = 2, 3$,

$x_i^{kn}, u_i^{kn}, p_i^{kn}$ – координати точок граничного елемента та вузлові значення вектора переміщень та вектора зусиль відповідно;

k – номери вузлів граничного елемента.

На другому етапі проводиться чисельне інтегрування (1) для отримання алгебраїчної системи. Для розв'язання статичної задачі теорії пружності використовувався МГЕ у поєднанні, найчастіше, з процедурою точкової колокації [7]. У своїх розрахунках застосовуємо альтернативний варіант гранично-елементної схеми у постановці Бубнова-Гальоркіна [6,8], згідно з яким вимагатимемо ортогональність набору базисних функцій $\varphi^{kn}(\xi)$ до нев'язки інтегральних рівнянь (1) $r_i(\xi)$

$$\int_{\Gamma_n} \varphi^{kn}(\xi) r_i(\xi) d\Gamma(\xi) = 0, \quad i = 1, 2; \quad k = 1, \dots, N_i^n; \quad n = 1, \dots, N_e. \quad (3)$$

Враховуючи параметричне представлення (2) контуру границі області й функцій u_i та p_i , у випадку гладкої границі, отримаємо

$$\begin{aligned} & \sum_{l=1}^{N_l^n} \sum_{j=1}^2 \left[\int_{\Gamma_n} \varphi^{kn}(\xi) \frac{1}{2} \delta_{ij} \varphi^{\ell n}(\xi) d\Gamma(\xi) + \right. \\ & \left. \int_{\Gamma_n} \varphi^{kn}(\xi) \int_{\Gamma_n} p_{ij}^*(x, \xi) \varphi^{\ell n}(x) d\Gamma(x) d\Gamma(\xi) \right] u_j^{\ell n} + \\ & \sum_{m=1}^{N_e} \sum_{l=1}^{N_l^m} \sum_{j=1}^2 \left[\int_{\Gamma_n} \varphi^{kn}(\xi) \int_{\Gamma_m} p_{ij}^*(x, \xi) \varphi^{lm}(x) d\Gamma(x) d\Gamma(\xi) \right] u_j^{lm} = \\ & \sum_{m=1}^{N_e} \sum_{l=1}^{N_l^m} \sum_{j=1}^2 \left[\int_{\Gamma_n} \varphi^{kn}(\xi) \int_{\Gamma_m} u_{ij}^*(x, \xi) \varphi^{lm}(x) d\Gamma(x) d\Gamma(\xi) \right] p_j^{lm} + \\ & \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^2 \int_{\Gamma_n} \varphi^{kn}(\xi) \int_{\Omega_l} F_j(y) u_{ij}^*(y, \xi) d\Omega(y) d\Gamma(\xi). \end{aligned} \quad (4)$$

Для обчислення граничних інтегралів у рівняннях (4) використовуємо стандартні квадратурні формули Гауса.

На третьому етапі реалізації чисельної процедури МГЕ отримана система алгебраїчних рівнянь (4) розв'язується відносно невідомих граничних величин компонент векторів переміщень і зусиль методом Гауса.

Аналіз числових результатів

Для ілюстрації ефективності використання в інженерних розрахунках концентрації напружень гранично-елементної методики та успішної роботи, створеного на її основі, комплексу С++-програм наведемо результати розв'язання задачі про визначення пружно-деформованого стану конструкції із тріщиною. Розрахунки задач подібного типу часто зустрічаються у механіці руйнування. На рис.1 зображено балку, у площині $x=0$ якої є

тріщина, що займає половину її перерізу. Вважаємо, що задані два зосереджені навантаження, які діють симетрично на верхній грані балки у точках А та В.

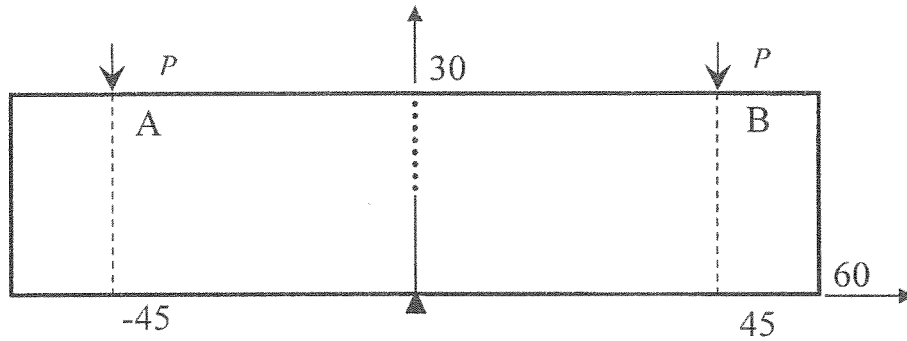


Рис. 1. Балка із крайовою тріщиною

З урахуванням умов симетрії, дослідження здійснено для правої половини області (рис.2). Для чисельних розрахунків вибрано такі механічні параметри матеріалу та інтенсивність навантаження: $E = 26kPa$; $\nu = 0,3$; $P = 100Pa$.

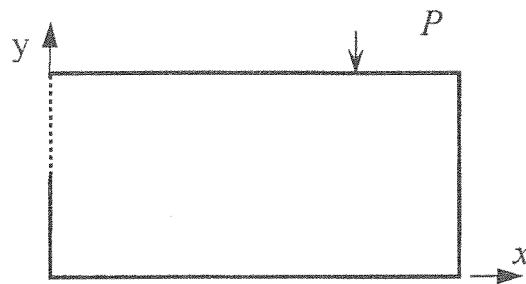


Рис. 2. Модель частини області, досліджуваної МГЕ

Проведено детальний порівняльний аналіз чисельних результатів, отриманих на основі МГЕ та МСЕ підходів. На рис.3 та рис.4 подано графіки переміщень $100u_x$ та $100u_y$ на лінії $\{x, y: x = 45, 0 \leq y \leq 30\}$, тобто лінії, розташованій під точкою прикладання зосередженого навантаження. Розбіжності поданих нижче результатів досліджень МСЕ [9] та МГЕ переміщень становлять не більше 2,0%.

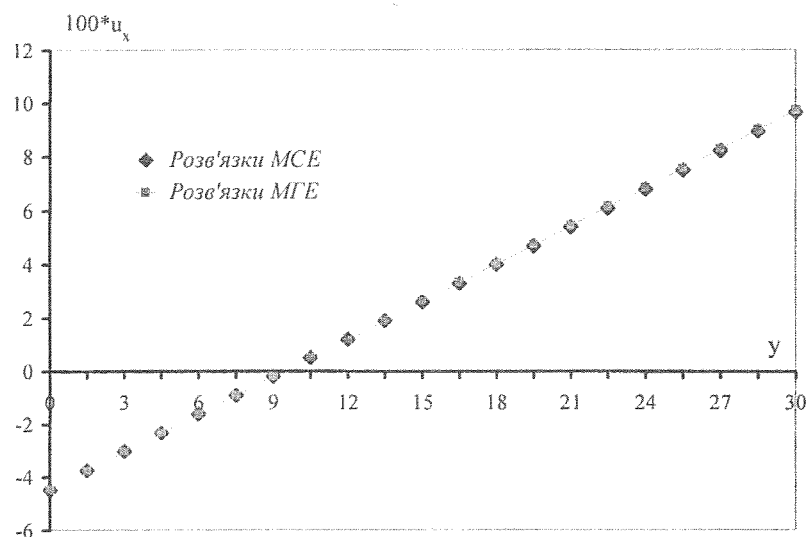


Рис.3. Переміщення $10^2 u_x$ на $\{x, y: x = 45, 0 \leq y \leq 30\}$

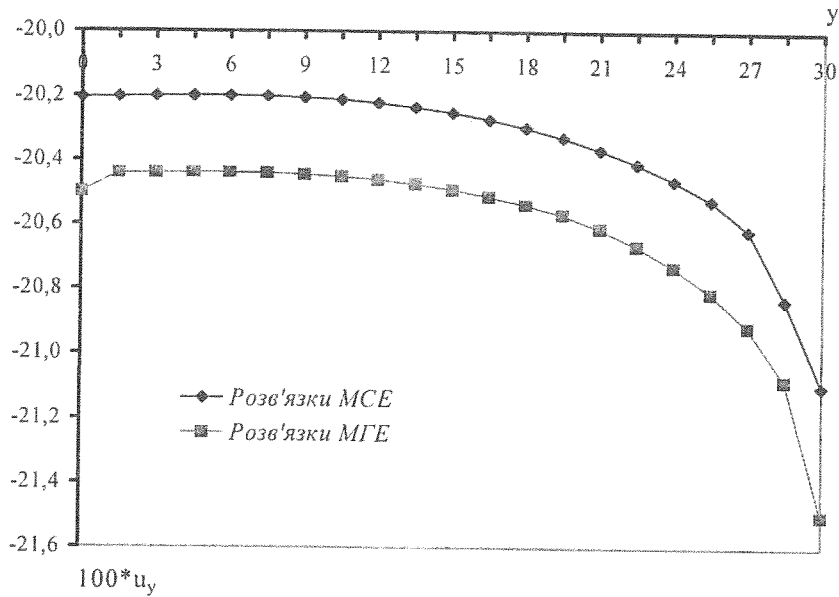


Рис.4. Переміщення $10^2 u_y$ на $\{x, y: x = 45, 0 \leq y \leq 30\}$

При МСЕ-аналізі розрахункова сітка містила 200 біквадратичних скінчених елементів. А чисельні розв'язки МГЕ одержано із використанням 240 лінійних ізопараметричних граничних елементів.

Аналізуючи результати зображені на рис.5 і рис.6, зауважуємо, що напруження отримані МГЕ більш точно відповідають реальній картині, оскільки якісно узгоджуються із поведінкою розв'язку про точкове навантаження. Напруження при підході до точки прикладання зосередженого навантаження теоретично необмежено зростають. Проте, на практиці безмежні напруження не реалізуються і числові розв'язки, одержані із залученням гранично-елементних апроксимацій можна вважати хорошим наближенням до тих напружень, котрі виникають у реальності.

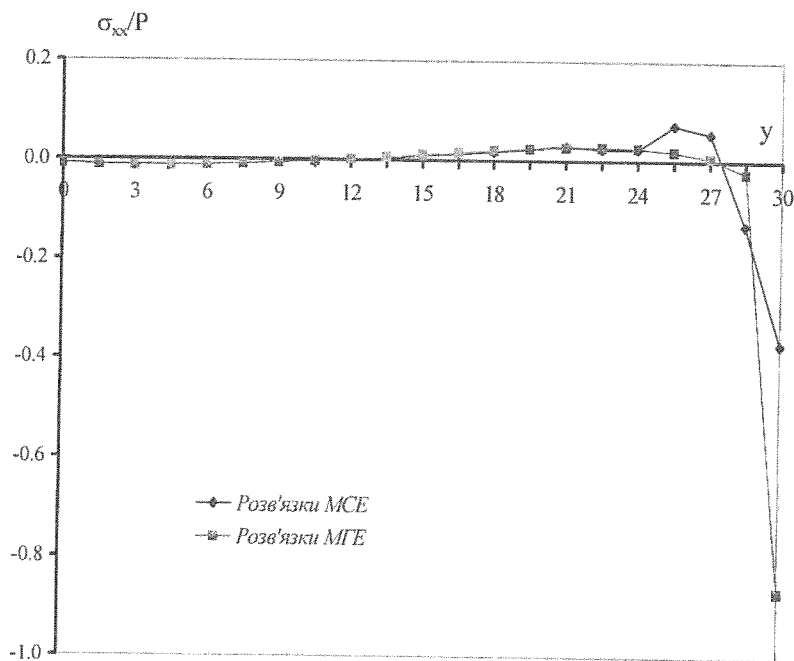


Рис.5. Напруження σ_{xx}/P на $\{x, y: x = 45, 0 \leq y \leq 30\}$

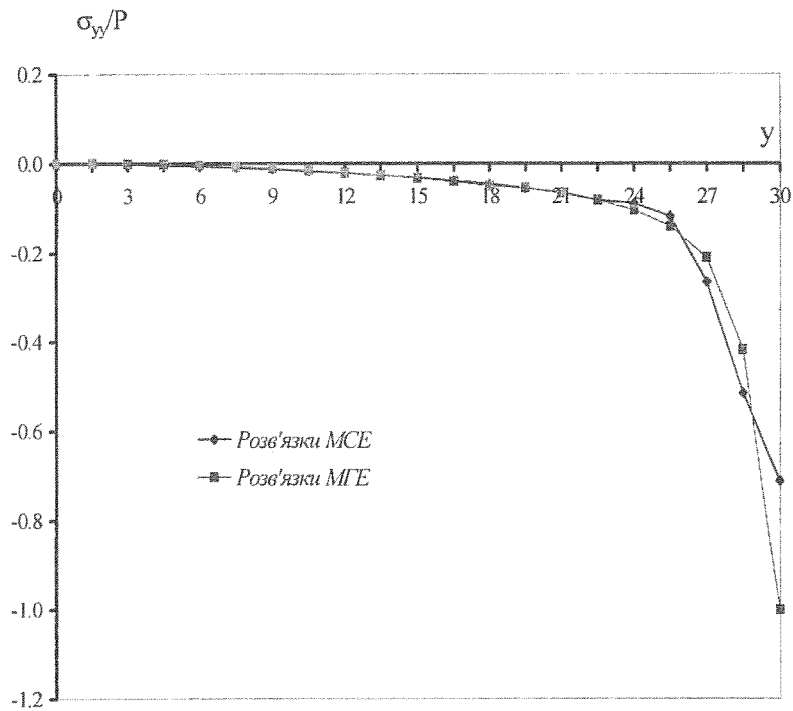


Рис.6. Напруження σ_{yy}/P на $\{x, y: x = 45, 0 \leq y \leq 30\}$

Висновки

Розглянутий приклад вибраний таким чином, щоб він демонстрував можливості МГЕ, його потенційні переваги над конкуруючими числовими методами. Представлені результати чисельних розрахунків показують, МСЕ поступається МГЕ у дослідженні задач із наявними зонами високих градієнтів шуканих функцій. Таким чином, МГЕ може служити для повного розв'язання або у комбінуванні з МСЕ згаданого вище класу задач теорії пружності.

Перспективним напрямком розвитку досліджень, на нашу думку, є розробка схеми гібридного гранично-скінчено-елементного підходу моделювання складних великогабаритних конструкцій. Ще одним суттєвим вдосконаленням реалізованого програмного забезпечення, особливо для задач визначення високої концентрації напружень, може бути створення та впровадження алгоритму побудови нерегулярної гранично-елементної сітки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Амензаде Ю.А. Теория упругости. – М.: Высшая школа. – 1976. – 272 с.
2. Купрадзе В.Д. Методы потенциала в теории упругости. – М.: Физматгиз, 1963. – 472 с.
3. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
4. Ляв А.Е. Математическая теория упругости. – М-Л., 1935. – 328 с.
5. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М.: Наука, 1981. – 688 с.
6. Головач Н.П., Дияк І.І. Прямий метод граничних елементів чисельного розв'язування задачі термопружності // Вісн. Львів. ун-ту. Сер.мех.-мат. – 1996. – Вип.44. – С. 57-62.
7. Бреббиа К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 528 с.
8. Parreira P., Guiggiani M. On the implementation of the Galerkin approach in the boundary element method // Comput. and Struct. – 1989. – Vol. 33, №1. – P. 269- 279.

9. Дьяк И.И. Решение двумерных задач квазистатической термоупругости на основе применения высокоточных схем МКЭ: Дис... канд. физ.-мат. наук: 01.02.04. – Львов, 1983. – 234 с.

УДК 614.842

О.О. Карабин, к.ф.-м.н. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

СТАТИСТИЧНІ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДІЯЛЬНОСТІ ПОЖЕЖНОЇ ОХОРОНИ

У роботі досліджується залежність кількості пожеж, летальних випадків внаслідок пожеж від температури повітря в осінньо-зимовий та у весняно-літній періоди. Знайдено функції розподілу для кількості пожеж та кількості летальних випадків, що дозволяє прогнозувати і моделювати роботу аварійно-рятувальних служб, їх раціональну організацію, технічне і кадрове забезпечення.

Пожежі є найвагомим після дорожньо-транспортних пригод чинником загибелі людей. Зокрема, внаслідок пожеж гине близько 65 тис. населення Землі [4], в Україні ця цифра становить, приблизно 3,5 тис. [6]. Зменшення кількості цих жертв не можна досягнути без раціональної організації пожежно-рятувальних служб.

Метою цієї роботи є обґрунтування залежностей між параметрами пожеж, що сприятиме раціоналізації пожежно-рятувальних робіт

Надійних результатів можна досягти засобами математичної статистики, опрацювавши великий масив даних. Автором використаний масив даних кількості пожеж за 1999-2002 роки Управління пожежної безпеки у м. Львові, а також масив даних Львівського гідрометцентру з інформацією про середню температуру повітря за вказаний термін. Аналіз здійснено за допомогою англійського пакета програм STATISTICA, не адаптованого до кирилиці, тому частину коментарів до таблиць і графіків зроблено англійською мовою.

У роботі [5] залежність між температурою повітря і кількістю пожеж не встановлена, а між кількістю летальних випадків і температурою повітря встановлено існування слабого лінійного кореляційного зв'язку з коефіцієнтом кореляції $r=-0,2$ і рівнянням регресії $D=0,38555-0,015T$, де D – змінна, що відповідає кількості жертв, а T – незалежна змінна – температура повітря. Питання про прогнозування основних показників статистики пожеж піднімається в роботі [6], де проаналізовано з точки зору розрахунку середньомісячних темпів приросту інформацію статистики пожеж і загиблих на них в цілому по Україні за 2000 – 2002 рр.

Основною ідеєю роботи є дослідження взаємозв'язків між кількістю пожеж (FIRE), летальних випадків (DEAD) внаслідок пожеж та температурою повітря в залежності від пори року. Залежності досліджені у осінньо-зимовий період (15.10 – 31.03) та у весняно-літній період (01.04 – 14.10). Відлік осіннього-зимового періоду з 15 жовтня зумовлений датою початку опалювального сезону.

Насамперед розглянемо описові статистики, зокрема, математичне сподівання (mean), медіану (median), мінімум (minimum), максимум (maximum), дисперсію (variance), стандартне відхилення (standart deviation), асиметрію (skewness), ексцес (kurtosis). Результати обчислень наведено у таблиці 1 для осінньо-зимового періоду і у таблиці 2 – для весняно-літнього періоду.