



**МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ
УКРАЇНСЬКОЮ ТА
АНГЛІЙСЬКОЮ МОВАМИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

*Регіональна науково-
практична конференція*

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

Львів – 2020

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Кузик Андрій Данилович, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи ЛДУ БЖД;

Лин Андрій Степанович, кандидат технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУ БЖД;

Паснак Іван Васильович, кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД з навчально-наукової роботи;

Башинський Олег Іванович, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Кравець Ігор Петрович, кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Ференц Надія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Вовк Сергій Ярославович, кандидат технічних наук, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Шапалов Олег Валерійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Пелешко Марта Зенонівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Міллер Олег Васильович, професор кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Кушнір Андрій Петрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Назаровець Олег Богданович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Бережанський Тарас Григорович, кандидат технічних наук, викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;

Харишин Дем'ян Васильович, кандидат технічних наук, викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД.

**ОРГАНІЗАТОР
ТА ВИДАВЕЦЬ**

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності

**Технічний редактор,
комп'ютерна верстка
Друк на різнографі
Відповідальний за друк**

Климус М.В.
Климус М.В.
Фльорко М.Я.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35,
м. Львів, 79007

Контактні телефони:

(032) 233-24-79,
тел/факс 233-00-88

Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: Зб. наук. праць Регіональної науково-практичної конференції. – Львів: ЛДУ БЖД, 2020 – 235 с.

Збірник сформовано за науковими матеріалами Регіональної науково-практичної конференції «**Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення**».

Збірник містить матеріали таких тематичних секцій:

- Державний нагляд у сфері пожежної та техногенної безпеки;
- Системи протипожежного захисту та профілактика електроустановок.

© ЛДУ БЖД, 2020

Здано в набір 23.11.2020. Підписано до друку 25.11.2020. Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 14,75.

Гарнітура Times New Roman.

Друк на різнографі. Наклад: 50 прим.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

ldubzh.lviv@mns.gov.ua

За точність наведених фактів, економіко-статистичних та інших даних, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів. При передруковуванні матеріалів посилання на збірник обов'язкове.

УДК 614.841.34

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ В СИСТЕМІ БАГАТОШАРОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТВЕРДИХ ТІЛ ЗА УМОВ ПОЖЕЖІ

*О.Ю. Пазен, канд. техн. наук, С.Я.Вовк, канд. техн. наук
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

Постановка проблеми. За даними звітів «Про пожежі та їх наслідки» за останні 5 років в Україні виникло понад 400 тисяч пожеж, унаслідок яких загинуло понад 14 тисяч людей та знищено або пошкоджено понад 200 тисяч будівель, споруд та різних зовнішніх установок. Прямі збитки від пожеж склали близько 5,5 млрд. грн. Тому актуальними задачами сьогодення є знаходження розподілу температурного поля в циліндричних конструкціях типу «суцільний циліндр всередині багат шарової циліндричної оболонки». Такі задачі зустрічаються під час процесів нагрівання трубобетонних колон, резервуарів, трубопроводів, тепловидільних елементів циліндричної форми у ядерних реакторах АЕС, тощо. Характерною особливістю таких елементів є поєднання різного роду механічних та теплофізичних характеристик шарів, що робить їх більш досконаліми. Проте, такий підхід зумовлює значні труднощі при розробці аналітичних методів їх дослідження. Тому розробка нових методів дослідження багат шарових, зокрема, циліндричних конструкції є актуальною задачею сьогодення, що уможливило врахування зазначених особливостей, є суттєвим кроком у підвищенні пожежної безпеки під час експлуатації даних конструкцій.

Застосування прямого методу до розв'язування задач теплообміну в багат шарових порожнистих циліндричних конструкціях описано в публікаціях [1-3]. В основу цих публікацій покладено пряму (класичну) схему дослідження, що базується на методі редукції, концепції квазіпохідних, сучасній теорії систем лінійних диференціальних рівнянь, модифікованому методі власних функцій Фур'є. Запропонований в роботі метод є поширенням цієї схеми для випадку вкладених циліндричних тіл та не

накладає жодних обмежень на товщину та кількість шарів оболонки. Крім того, на зовнішній поверхні розглядається крайова умова найбільш загального типу.

Вихідна задача. Розглядається нескінченний суцільний циліндр радіусом $r = r_1$ всередині багат шарової порожнистої циліндричної оболонки радіусами $r_1 < r_2 < \dots < r_{n-1} < r_n$ з однаковою початковою температурою $T = T_0$. Між ними існує ідеальний тепловий контакт.

На зовнішній поверхні багат шарової порожнистої циліндричної конструкції існує конвективний теплообмін з навколишнім середовищем, тобто виконуються крайові умови третього роду. Температура навколишнього середовища змінюється за деяким законом $\psi(\tau)$, тобто залежить від часу τ . Необхідно знайти розподіл нестационарного температурного поля $T(r, \tau)$ у будь-який момент часу τ у такій складній системі.

Вважається, що закон зміни температури $\psi(\tau)$ рівномірно розподілений у зовнішньому приповерхневому шарі, так, що ізотерми всередині циліндричної конструкції являють собою концентричні кола. Це значить, що температура залежить лише від радіуса r та часу τ і задача є симетричною.

Така постановка задачі зводиться до розв'язування диференціального рівняння теплопровідності [4]

$$c\rho \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad r \in [0, r_n], \quad \tau > 0, \quad (1)$$

з початковою умовою

$$T(r, 0) = T_0. \quad (2)$$

крайовою умовою

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_n, \tau) = \alpha (T(r_n, \tau) - \psi(\tau)), \quad (3)$$

та умовою симетрії [5]

$$\frac{\partial T}{\partial r}(0, \tau) = 0 \quad (4)$$

Тут $c(r)$ — питома масова теплоємність матеріалу, Дж/(кг·°С), $\rho(r)$ — густина матеріалу, кг/м³, $\lambda(r)$ — його коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С), α — коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·°С).

Для розв'язування поставленої вихідної задачі паралельно ставиться допоміжна задача про визначення розподілу нестационарного температурного поля у багатошаровій порожнистій циліндричній конструкції з «вилученим» циліндром достатньо малого радіуса. При цьому умова симетрії вихідної задачі замінюється умовою другого роду на внутрішній поверхні цієї конструкції. Реалізація розв'язку допоміжної задачі проводиться шляхом застосування методу редукції із використанням концепції квазіпохідних. Надалі використовується схема Фур'є із застосуванням модифікованого методу власних функцій.

Для знаходження розв'язку вихідної задачі використано ідею граничного переходу шляхом прямування радіуса вилученого циліндра до нуля. Встановлено, що при такому підході всі власні функції відповідної задачі на власні значення не мають особливостей в нулі, а це означає, що й розв'язки вихідної задачі є обмеженими у всій конструкції.

Висновки. До розв'язування вихідної задачі застосовано прямий метод, причому вперше використано ідею граничного переходу. У загальній постановці (функція $\psi(\tau)$ вважається довільною, не накладається жодних обмежень на товщину оболонки та кількість шарів) таку задачу розв'язано вперше.

Структура отриманих явних формул дозволяє створити алгоритм розрахунку температурного поля у вигляді автоматизованих програм, де достатньо лише ввести початкові дані. Зауважимо, що такі алгоритми включають в себе: а) обчислення коренів характеристичного рівняння; б) множення скінченного числа відомих матриць; в) обчислення визначених інтегралів; г) сумування необхідної кількості членів ряду для отримання заданої точності розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pazen O. Yu., Tatsii R. M. General boundary-value problems for the heat conduction equation with piecewise-continuous coefficients. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. vol. 89, no. 2. pp. 357-368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1386-8>
2. Pazen O. Yu., Tatsii R. M. Direct (classical) method of calculation of the temperature field in a hollow multilayer cylinder. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2018. vol. 91, no. 6. pp. 1373-1384. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1871-3>
3. Таций Р.М. Стасюк М.Ф., Пазен О.Ю. Прямой метод расчета температурного поля в многослойной полой сферической конструкции. *Вестник Кокшетауского технического института: Кокшетау: КТИКЧСМВД Республики Казахстан*. 2018. № 1(29). С.9-20.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.

УДК 614.841: 543.57

**ДОСЛІДЖЕННЯ САМОЗГАСАЮЧИХ
ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ
МОДИФІКОВАНИХ КУПРУМ(ІІ)
ГЕКСАФЛУОРСИЛКАТОМ**

*В.-П.О. Пархоменко, канд. техн. наук
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності*

З розвитком техніки та промисловості епоксидні смоли та матеріали на їх основі знаходять все нові галузі застосування, причому, як правило, не поступаються зайнятими позиціями іншим матеріалам [1].