

SCI-CONF.COM.UA

**PRIORITY DIRECTIONS
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
DEVELOPMENT**



**ABSTRACTS OF IV INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
DECEMBER 20-22, 2020**

**KYIV
2020**

78.	<i>Кижаев С. А., Диденко К. Е., Коноплянка М. А., Чиже П. М.</i>	387
	К ВОПРОСУ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
79.	<i>Кикина Є. Б., Ніколенко В. В.</i>	393
	РОЗПІЗНАВАННЯ ЛЮДСЬКИХ ОБЛИЧЬ НА ОСНОВІ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON	
80.	<i>Кізим М. С.</i>	401
	ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ РАКОВИХ КЛІТИН У ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ	
81.	<i>Клена О. І.</i>	404
	ВПЛИВ ПАРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СИРОВИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРОКОНВЕКЦІЙНОЇ ПЕЧІ	
82.	<i>Климчук М. О.</i>	409
	АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	
83.	<i>Кондратенко О., Коваленко С., Ткаченко О., Капінос Є.</i>	412
	ДЕЯКІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	
84.	<i>Красвий В. А., Лукавенко В. П., Бєліков К. О.</i>	422
	ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКТОРНОГО ПУСКУ АСИНХРОННОГО ПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ЕЛЕКТРОТАЛІ	
85.	<i>Кусий Я. М., Чернишенко Я. В.</i>	426
	ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ SADT-ТЕХНОЛОГІЙ	
86.	<i>Кустливий А. О., Черевик В. М.</i>	433
	МІГРАЦІЯ В ХМАРИ	
87.	<i>Кустливий М. О., Черевик В. М.</i>	437
	CISCO PACKET TRACER ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОБУДОВИ ІОТ РІШЕНЬ	
88.	<i>Левчук О. М., Терпак Ю. В.</i>	442
	РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВІЗУАЛЬНОЇ ДЕМОНСТРАЦІЇ РОБОТИ АЛГОРИТМІВ СОРТУВАННЯ ДАНИХ У МАСИВАХ В ПРОЦЕСІ ШКІЛЬНОГО ВИВЧЕННЯ ОКРЕМИХ КУРСІВ ПРОГРАМУВАННЯ	
89.	<i>Лічконенко Н. В.</i>	448
	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗУ І РОЗПЛАВУ НА РОЗМІР МІКРОГРАНУЛ ПРИ ГАЗОВОМУ РОЗПИЛЮВАННІ	
90.	<i>Лоїк В. Б., Бабаджанова О. Ф., Татарінов І. М.</i>	455
	РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ В АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЯХ ЕЛЕКТРОКАРІВ	

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ В АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЯХ ЕЛЕКТРОКАРІВ

Лоїк Василь Богданович,

к. т. н., доцент

Бабаджанова Ольга Федорівна,

к. т. н., доцент

Львівський державний університет

безпеки життєдіяльності

м. Львів, Україна

Татарінов Іван Миколайович

Здобувач

Вступ. Сучасний розвиток виробництва електричних і гібридних електромобілів, які на ринку витісняють автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння, ставить ряд питань аварійним службам, які необхідно вирішувати. Одночасно з приходом нових технологій зростає кількість загроз і небезпек, на які повинні кваліфіковано реагувати аварійно-рятувальні підрозділи. Подібна небезпека виникає в електромобілях, у яких використовуються акумуляторні батареї великої ємності. Основні виробники електрокарів у конструкції акумуляторних батарей використовують літій-іонні акумулятори, які працюють із використанням графітних електродів і відрізняються тільки типом елементів живлення та їх розміщенням у самій акумуляторній батареї. У даному випадку слід відзначити, що графіт при нагріванні мало розширюється, має високу теплопровідність, яка приблизно у два рази є вищою за теплопровідність вольфрамових сплавів і тому є стійким проти термічних ударів. А щодо форми, то найпоширенішими елементами живлення зараз є елементи циліндричної форми, які використовують, зокрема, в електромобілях компанії Tesla. Літій-іонні батареї мають низку переваг, зокрема термін функціонування та можливість їх швидкого зарядження. Але поряд із їх великими перевагами існує низка недоліків, які несуть потенційну пожежну небезпеку як самим транспортним засобам, так і персоналу їх обслуговування. Це викликано тим,

що всередині елементів живлення міститься електроліт, який легко займається і служить причиною незворотної термічної реакції, внаслідок чого приводить до виділення легкозаймистих і токсичних газів, а в деяких випадках і до руйнування елементів живлення. Незворотна термічна реакція виникає у результаті нестабільного режиму роботи елементів живлення, викликаного коротким замиканням, перегріванням, перезарядженням і механічними пошкодженнями. У зв'язку з цим доволі актуальною постає задача розроблення математичних моделей процесу нагрівання літій-іонних елементів живлення, які враховують їх геометричну форму та хімічний склад. Створення таких математичних моделей у подальшому дає змогу визначати необхідні показники температури та виконувати розрахунки виділеної кількості теплоти, не проводячи дорогих експериментів, а також для розроблення різноманітних нових варіантів елементів живлення з покращеними конструкційними параметрами.

Мета роботи– розроблення математичних моделей для визначення та аналізу температурних режимів у окремих елементах літій-іонних акумуляторних батарей, які дають змогу встановити допустимі температури нормальної роботи.

Основні результати роботи. Визначення температурних режимів як в однорідних, так і неоднорідних конструкціях привертає увагу багатьох дослідників. У працях [1-3] удосконалено існуючі та розроблено нові підходи до створення математичних моделей аналізу теплообміну між кусково-однорідними конструкціями та навколишнім середовищем і методів розв'язування лінійних і нелінійних крайових задач для кусково-однорідних середовищ.

У роботі [4] розроблено математичну модель визначення температурного поля та аналізу температурних режимів у літій-іонних акумуляторних батареях, конструкцію вузлів яких геометрично описано шаруватою структурою. Наведемо ще низку математичних моделей теплообміну, які дають змогу визначати температурні поля в окремих елементах літій-іонних акумуляторних батарей і встановлювати допустимі значення температури для їх нормальної роботи.

Розглянемо ізотропний півпростір, в об'ємі $2\pi R^2 h$ циліндра якого зосереджені рівномірно розподілені внутрішні джерела тепла з потужністю $q_0 = const$, віднесений до циліндричної системи координат $(Or\varphi z)$ із початком в центрі циліндра. На поверхні $z = -h-l$ півпростору задано умову конвективного теплообміну із навколишнім середовищем за законом Ньютона, температура якого дорівнює $t_c = const$ (рис. 1).

Для визначення стаціонарного температурного поля $t(r, z)$ у наведеному середовищі використаємо рівняння теплопровідності [5,6]

$$\lambda \Delta t = -q_0 S_-(R-r)N(z) \quad (1)$$

з крайовими умовами

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \Big|_{z=-h-l} = \alpha_z (t|_{z=-h-l} - t_c), \quad t|_{r,z \rightarrow \infty} = t_c, \quad (2)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності півпростору; α_z – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні $z = -h-l$ півпростору;

$\Delta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа в циліндричній системі координат;

$$N(z) = S_-(z+h) - S_+(z-h);$$

$$S_{\pm}(\zeta) = \begin{cases} 1, & \zeta > 0, \\ 0,5 \pm 0,5, & \zeta = 0, \\ 0, & \zeta < 0, \end{cases} \text{ – асиметричні одиничні функції [8].}$$

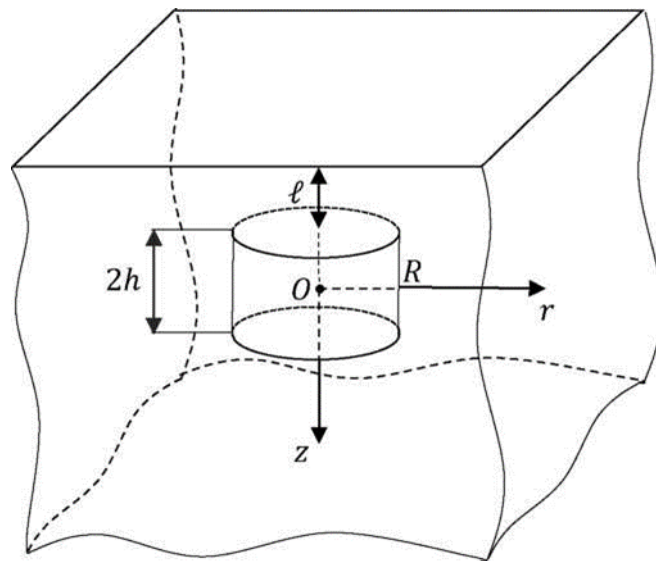


Рис. 1. Ізотропний півпростір із циліндричним джерелом тепла

До співвідношень (1), (2) застосовуємо інтегральне перетворення Ганкеля за просторовою координатою r . У результаті отримуємо звичайне диференціальне рівняння зі сталими коефіцієнтами

$$\frac{d^2 \bar{\theta}}{dz^2} - \xi^2 \bar{\theta} = -\frac{q_0 R}{\lambda \xi} I_1(R\xi) N(z) \quad (3)$$

з крайовими умовами

$$\lambda \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \Big|_{z=-h-l} = \alpha_z \bar{\theta} \Big|_{z=-h-l}, \quad \bar{\theta} \Big|_{z \rightarrow \infty} = 0. \quad (4)$$

Тут $\theta(r, z) = t(r, z) - t_c$; $\bar{\theta}(z) = \int_0^\infty r I_0(r\xi) \theta(r, z) dr$ – трансформанта температури

$\theta(r, z)$; ξ – параметр інтегрального перетворення, $J_\nu(x) = \sum_{n=0}^\infty (-1)^n \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{\nu+2n}}{n!(\nu+n)!}$ – функція Бесселя першого роду ν -го порядку.

Загальний розв'язок рівняння (3) знайдемо методом варіації сталих у вигляді

$$\bar{\theta}(z) = c_1 e^{\xi z} + c_2 e^{-\xi z} + \frac{q_0 R}{\lambda \xi^3} I_1(R\xi) [N(z) - ch\xi(z+h)S_-(z+h) + ch\xi(z-h)S_+(z-h)],$$

де c_1, c_2 – сталі інтегрування, які визначимо із використанням крайових умов (4).

У результаті отримуємо частковий розв'язок задачі (3), (4)

$$\bar{\theta}(z) = \frac{q_0 R}{\lambda \xi^3} I_1(R\xi) \left\{ sh\xi h \left[e^{\xi z} + \frac{\lambda \xi - \alpha_z}{\lambda \xi + \alpha_z} e^{-\xi(z+h+l)} \right] + N(z) - ch\xi(z+h)S_-(z+h) + ch\xi(z-h)S_+(z-h) \right\}. \quad (5)$$

Застосувавши обернене інтегральне перетворення Ганкеля до співвідношення (5), одержимо вираз для шуканої температури $\theta(r, z)$

$$\theta(r, z) = \frac{q_0 R}{\lambda} \int_0^\infty \frac{I_0(r\xi)}{\xi^2} I_1(R\xi) \left[sh\xi h \left[e^{\xi z} + \frac{\lambda \xi - \alpha_z}{\lambda \xi + \alpha_z} e^{-\xi(z+h+l)} \right] + N(z) - ch\xi(z+h)S_-(z+h) + ch\xi(z-h)S_+(z-h) \right] d\xi, \quad (6)$$

яким цілком виражено температурне поле в ізотропному півпросторі з тепловіддачею, що нагрівається джерелом тепла циліндричної форми.

Для випадку, коли на поверхні $z = -h-l$ півпростору задано умову $t_c = const$, розв'язок крайової задачі буде таким:

$$\theta(r, z) = \frac{q_0 R}{\lambda} \int_0^{\infty} \frac{I_0(r\xi)}{\xi^2} I_1(R\xi) \left[sh\xi h \left[e^{\xi z} - e^{-\xi(z+2(h+l))} \right] + N(z) - ch\xi(z+h)S_-(z+h) + ch\xi(z-h)S_+(z-h) \right] d\xi. \quad (7)$$

Припустимо, що півпростір нагрівається тепловим потоком, поверхнева густина якого дорівнює $q_0 = const$, зосередженим в крузі з радіусом R на поверхні півпростору. Тоді рівняння теплопровідності для цього випадку запишемо у вигляді

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = 0 \quad (8)$$

з такими крайовими умовами

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \Big|_{z=0} = -q_0 S_-(R-r), \quad t \Big|_{z \rightarrow \infty} = t_c, \quad t \Big|_{r \rightarrow \infty} = t_c. \quad (9)$$

Застосуємо до задачі (8), (9) інтегральне перетворення Ганкеля за просторовою координатою r . У результаті отримаємо звичайне диференціальне рівняння зі сталими коефіцієнтами

$$\frac{d^2 \bar{\theta}}{dz^2} - \xi^2 \bar{\theta} = 0 \quad (10)$$

з крайовими умовами

$$\lambda \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \Big|_{z=0} = -\frac{q_0 R}{\xi} I_1(R\xi), \quad \bar{\theta} \Big|_{z \rightarrow \infty} = 0. \quad (11)$$

Частковий розв'язок крайової задачі (10), (11) знайдемо у вигляді

$$\bar{\theta}(z) = \frac{q_0 R}{\lambda \xi^2} e^{-\xi z} I_1(R\xi). \quad (12)$$

Застосувавши обернене інтегральне перетворення Ганкеля до співвідношення (12), отримаємо вираз для шуканої температури $\theta(r, z)$ у вигляді

$$\theta(r, z) = \frac{q_0 R}{\lambda} \int_0^{\infty} \frac{I(R\xi) I_0(r\xi)}{\xi} e^{-\xi z} d\xi. \quad (13)$$

Отже, формулою (13) описано температурне поле в ізотропному півпросторі, який нагрівається локально зосередженим на поверхні півпростору тепловим потоком.

Висновок: Розроблено математичну модель визначення та аналізу температурних режимів в окремих елементах живлення циліндричної форми літій-іонних акумуляторних батарей. Застосовано теорію узагальнених функцій, яка дала змогу в зручному вигляді описати теплоактивні елементи живлення та отримати остаточне диференціальне рівняння теплопровідності з крайовими умовами.

Перелік використаних джерел

1. Gavrysh, V. I., & Fedasjuk, D. V. (2012). Modeljuvannjateperaturnyhrezhymiv u kuskovo-odnorodnyhstrukturah. *Lviv: VydvoNac. un-tu "L'vivs'ka politehnika"*, 176–178.
2. Havrysh V. I., BaranetskiyYa. O., Kolyasa L. I. (2018). Investigation of temperature modes in thermosensitive non-uniform elements of radioelectronic devices. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 3(46), 7-15.
3. Havrysh V. I., Kolyasa L. I., Ukhanka O.M. (2019). Determination of temperature field in thermally sensitive layered medium with inclusions // *NaukovyiVisnyk NHU*, 1, 94-100.
4. Havrysh V. I., LoikV. B., KorolO. S., Syntlnikov O. D. (2020). A mathematical model for determining and analyzing temperature regimes in a battery pack of electric trucks // *Науковий вісник НЛУ України*, 1(30) , 132-135.
5. Подстригач Я. С., Ломакин В. А., Коляно Ю. М. (1984). Термоупругость тел неоднородной структуры. М.: Наука.
6. Коляно Ю. М. (1992). Методы теплопроводности и термоупругости неоднородного тела. – К.: Наукова думка.
7. Havrysh V. I., Kolyasa L. I., Ukhanka O.M. (2019). Determination of temperature field in thermally sensitive layered medium with inclusions // *NaukovyiVisnyk NHU*, 1, 94-100.