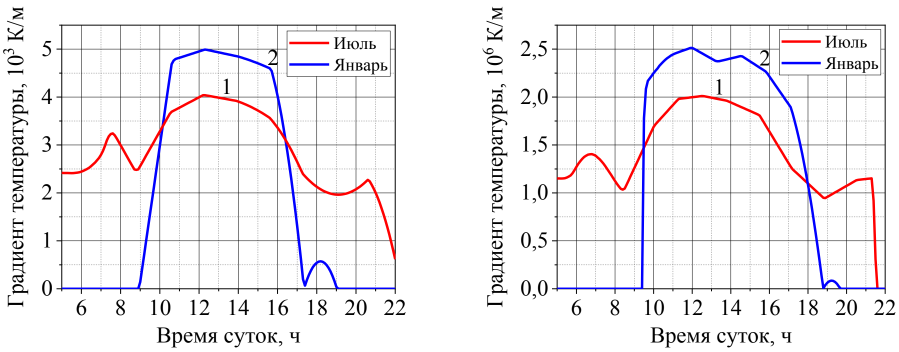
и 500 (рисунок 2 б) кВт/м^2, в июле (кривая 1) и январе (кривая 2). При этом максимальные значения градиента температуры как в середине января, так и в середине июля достигаются около 12 часов дня. В январе эти значения градиента на ~ 20 % выше, чем в июле, что обусловлено, с одной стороны, наличием стабилизации температуры тыльной стороны внешних электродов на уровне температуры окружающей среды и, с другой стороны, воздействием концентрированного солнечного излучения на все элементы фототермоэлектрической батареи в течение светового дня. Однако, вследствие того, что световой день в июле больше, чем в январе, суммарный энергетический выигрыш, получаемый в течение суток в июле внутри термоэлектрического преобразователя фототермоэлектрической батареи, оказывается больше, чем в январе.



а) б)

Рисунок 2. – Зависимости градиентов температуры внутри термоэлектрического преобразователя фототермоэлектрической батареи при воздействии на нее концентрированного солнечного излучения с плотностью мощности, максимальные значения которой равны 1 (а) и 500 (б) кВт/м^2, от времени суток в серединах июля (кривая 1) и января (кривая 2)

Достигнутые максимальные значения градиентов температуры (рисунок 2) между внутренними и внешними электродами термоэлектрических преобразователей фототермоэлектрической батареи при воздействии на нее концентрированного солнечного излучения с P_{max} = 500 кВт/м^2 приводят к тому, что разность потенциалов, генерируемая между этими электродами, в январе и июле достигает около 12 часов дня максимальных значений, которые соответственно равны 81,1 и 64,9 мВ. Суммарная генерируемая разность потенциалов в течение суток (при P_{max} = 500 кВт/м^2) в середине января и июля составляет 635 и 780 мВ соответственно.

Проведенные исследования показали, что предложенная фототермоэлектрическая батарея в условиях интенсивной засветки позволяет увеличить энергоотдачу с единицы площади и поднять КПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cotfas, P. A. Comprehensive review of methods and instruments for photovoltaic-thermoelectric generator hybrid system characterization / P. A. Cotfas, D. T. Cotfas // Energies. – 2020. – Vol. 13, Iss. 22. – P. 6045-1–32.

2. Фототермоэлектрическая батарея: пат. 19928 Респ. Беларусь: МПК H 01L 31/05 / А. К. Есман, В. К. Кулешов, Г. Л. Зыков и др.; дата публ. 20.02.2016.

А. И. ЖУК, Е. Н. ЗАЩУК
УО БрГТУ (г. Брест, Беларусь)

РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕАВТОНОМНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Рассмотрим следующую систему нелинейных дифференциальных уравнений с обобщенными коэффициентами на отрезке $T=[0;a]\subset R$:

$$\dot{x}^i(t)=\sum_{j=1}^{q} f^{ij}(t,x(t))\dot{L}^j(t),\quad i=\overline{1,p} \qquad (1)$$

$$x(0)=x_0, \qquad (2)$$

где f^{ij} – функции, удовлетворяющие условию линейного роста, $L^j(t)$ – непрерывные функции ограниченной вариации на отрезке T.

Уравнение (1) содержит произведение обобщенных функций, в связи с этим его решение зависит от подхода к трактовке подобного рода задач. Одним из таких подходов является концепция новых обобщенных функций [1].

Пусть R – вещественная прямая. На множестве последовательностей из элементов R введем отношение эквивалентности: $(x_n) \sim (y_n)$, если $\exists\, n_0 \in N,\ \forall\, n \ge n_0,\ x_n = y_n$, обобщенным числом назовем класс эквивалентности $\tilde{x} = [(x_n)]$. Множество обобщенных чисел обозначим $\tilde{R}$. Рассмотрим подмножество $H = \{\tilde{h} \in \tilde{R} : \tilde{h} = [(h_n)], h_n > 0, \forall n \in N, \lim\limits_{n\to\infty} h_n = 0\}$.

На множестве всех последовательностей f_n таких, что $f_n \in C^\infty(R)$, введем отношение эквивалентности: $(f_n) \sim (g_n)$, если $\exists\, n_1 \in N, \forall\, n \ge n_1,\ \forall\, x \in R,\ f_n(x) = g_n(x)$. Класс эквивалентности $[(f_n)]$ будем называть мнемофункцией [1] и обозначать $\tilde{f}$. Обозначим через $G(R)$ множество всех мнемофункций. Алгебру мнемофункций вида

$$\tilde{f}(\tilde{x}) = [(f_n(x_n))],$$

где $\tilde{x} = [(x_n)] \in \tilde{R}$, а $[(f_n(x))] \in G(R)$, $\forall\, x \in R$, обозначим $G(\tilde{R})$. Определим на $G(\tilde{T})$ обобщенный дифференциал

$$d_{\tilde{h}} \tilde{f}(\tilde{x}) = [(f_n(x + h_n) - f_n(x))], \tilde{x} = [(x_n)] \in \tilde{T}, \tilde{h} \in H.$$

Будем говорить, что мнемофункция $\tilde{f} = [(f_n)]$ ассоциирует элемент f из некоторого топологического пространства Ω, если последовательность $\{f_n\}$ при $n \to \infty$ сходится к f в топологии Ω. Заменим обычные функции в (1) на соответствующие им новые обобщенные функции, получим:

$$d_{\tilde{h}} \tilde{x}^i(\tilde{t}) = \sum_{j=1}^{q} \tilde{f}^{ij}(\tilde{t}, \tilde{x}(\tilde{t})) d_{\tilde{h}} \tilde{L}^j(\tilde{t}),\ i = \overline{1, p} \tag{3}$$

$$\tilde{x}\big|_{[\tilde{0}, \tilde{h})} = \tilde{x}^0, \tag{4}$$

где $\tilde{h} = [\{h_n\}] \in H$, $\tilde{a} = [\{a\}] \in T$ и $\tilde{t} = [\{t_n\}] \in \tilde{T}$, $\tilde{x} = [\{x_n(t)\}]$, $\tilde{f} = [\{f_n(x)\}]$, $\tilde{x}^0 = [\{x_n^0(t)\}]$, $\tilde{L} = [\{L_n(t)\}]$ и $x_{n0} \to x(0)$.

Таким образом, под решением задачи Коши уравнения (1) – (2) будем понимать ассоциированное решение задачи Коши (3) – (4). Если заменить в (3) – (4) каждую новую обобщенную функцию представителем класса ее определяющего, получим

$$x_n^i(t + h_n) - x_n^i(t) = \sum_{j=1}^{q} f_n^{ij}(t, x_n(t))[L_n^j(t + h_n) - L_n^j(t)],\ i = \overline{1, p} \tag{5}$$

$$x_n(t)\big|_{[0, h_n)} = x_{n0}(t), \tag{6}$$

здесь $L_n^j(t) = (L^j * \rho_n)(t) = \int\limits_0^{\frac{1}{n}} L^j(t+s)\rho_n(s)ds,$ где $\rho_n(t) = n\rho(nt),$ $\rho \ge 0,$ $supp(\rho) \subseteq [0,1],$ $\int\limits_0^1 \rho(s)ds = 1,$

а $f_n = f * \tilde{\rho}_n,$ $\tilde{\rho} \ge 0,$ $\tilde{\rho} \in C^\infty(R^{p+1}), \tilde{\rho}_n(x_0, x_1, \ldots, x_p) = n^p \tilde{\rho}(nx_0, nx_1, \ldots, nx_p),$ $\int\limits_{[0,1]^{p+1}} \tilde{\rho}(x_0, x_1, \ldots, x_p) dx_0 dx_1 \ldots dx_p = 1,$ $supp(\tilde{\rho}) \subseteq [0,1]^p.$

Пусть t – произвольная фиксированная точка из отрезка T. Тогда t можно представить в виде $t = \tau_t + m_t h_n$, где $\tau_t \in [0, h_n),$ $m_t \in N.$ Заметим, что τ_t зависит от h_n и необходимо записывать τ_{th_n}, но для упрощения обозначений этого делать не будем. Несложно видеть, что решение системы (4) – (5) можно записать в виде

$$x_n^i(t) = x_{n0}^i(\tau_t) + \sum_{j=1}^{q} \sum_{k=0}^{m_t - 1} f_n^{ij}(\tau_t + kh_n, x_n(\tau_t + kh_n))[L_n^j(\tau_t + (k+1)h_n) - L_n^j(\tau_t + kh_n)],$$

где $i = \overline{1, p}$.

При некоторых дополнительных условиях функция x_n^j будет гладкой, поэтому при этих условиях решение задачи (5) – (6) определяет новую обобщенную функцию, которая является решением задачи (3) – (4). Эти условия описывает следующая теорема.

Теорема 1. [2]. Пусть для любых представителей $(f_n^{ij}) \in \tilde{f}^{ij}$, $(L_n^j) \in \tilde{L}^j$, $(x_n^i) \in \tilde{x}^i$, $(x_{n0}^i) \in \tilde{x}_0^i$ выполняется условие:

$$\frac{d^l}{dt^l}[x_{n0}^i(h_n - t) - x_{n0}^i(t)] - \sum_{j=1}^{q} \frac{d^l}{dt^l}[f_n^{ij}(t, x_{n0}(t))[L_n^j(h_n + t) - L_n^j(t)]] \to 0,$$

при $t \to +0$ для любых $l = 0,1,2,...,$ тогда решение задачи Коши (3) – (4) в $G(T)$ существует и единственно.

Для описания предельного поведения решения задачи Коши (5) – (6) рассмотрим систему

$$x^i(t) = x_0^i + \sum_{j=1}^{q} \int_0^t f^{ij}(s, x(s-))dL^j(s), \quad i = \overline{1,p}, \tag{7}$$

Теорема 2. Пусть выполнены условия теоремы 1 и f^{ij} $i = \overline{1,p}$, $j = \overline{1,q}$ удовлетворяют условию линейного роста и ограничены. $L^j(t)$, $j = \overline{1,q}$ – непрерывные функции ограниченной вариации. Тогда ассоциированные решения задачи Коши (3) – (4) являются решением системы уравнения (5) – (6) в пространстве $L^1(T)$, если $\int_T |x_{n0}(\tau_t) - x_0| dt \to 0$.

Аналогичные теоремы в других пространствах и с другими условиями для функций f^{ij} $i = \overline{1,p}$, $j = \overline{1,q}$ были рассмотрены в работах [3; 4; 5; 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазакович, Н. В. Стохастические дифференциалы в алгебре обобщенных случайных процессов / Н. В. Лазакович // Докл. НАН Беларуси. – 1994. – Т. 38, № 5. – С. 23–27.
2. Каримова, Т. И. Об ассоциированных решениях нестационарных систем уравнений в дифференциалах в алгебре обобщенных случайных процессов / Т. И. Каримова // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. – 2009. – № 2. – С. 81–86.
3. Жук, А. И. Системы дифференциальных уравнений в алгебре обобщенных функций / А. И. Жук, О. Л. Яблонский // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2011. – № 1. – С. 12–16.
4. Жук, А. И. Дифференциальные уравнения с обобщенными коэффициентами в прямом произведении алгебр мнемофункций / А. И. Жук, Т. И. Каримова // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 5 (112) : Физика, математика, информатика. – С. 59–62.
5. Жук, А. И. Неавтономные системы дифференциальных уравнений с обобщенными коэффициентами в алгебре обобщенных функций / А. И. Жук, О. Л. Яблонский // Докл. НАН Беларуси. – 2013. – Т. 57, № 6. – С. 20–23.
6. Жук, А. И. Оценки скорости сходимости к ассоциированным решениям дифференциальных уравнений с обобщенными коэффициентами в алгебре мнемофункций / А. И. Жук, О. Л. Яблонский // Докл. НАН Беларуси. – 2015. – Т. 59. – № 2. – С. 17–22.

Д. А. ЗЕРНИЦА,[1] В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ[2]
[1]УО МГПУ им. И. П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)
[2]БГУ (г. Минск, Беларусь)

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ РАЗОРИЕНТАЦИИ В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ БЕССВИНЦОВЫХ ФОЛЬГАХ СИСТЕМЫ Sn-Zn

Ограничения на использование легкоплавких припоев, содержащих вредные компоненты, такие как свинец, кадмий и др., обусловили актуальность исследований по разработке новых припоев. Важнейшим условием является обеспечение высоких физико-механических свойств, которые должны