PRODUCTION TEST OF MOBILE ENERGY MEANS WITH POWER ELECTRIC DRIVE

V. Mironenko,
Y. Gerasymchuk,
R. Melnyk,
D. Tymoshchuk,
V. Slobodyan

Abstract. *The results of the production operation check of power mobile mean with power electric drive in greenhouses PJSC "integrated works" Greenhouse "and laboratory and field research. Found that in production conditions electric tractor on indicators technical characteristics is not inferior to the base model.*

Keywords: mobile power unit, power electrical drive, electric tractor, rechargeable battery

УДК621.1.0164(03)

НЕЛИНЕЙНАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СТЕНКИ ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ III РОДА

Б. Х. ДРАГАНОВ, доктор технических наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотация. *Приведен метод решения нелинейных нестационарных теплопередач через одну и многослойную стенку для граничных условий III рода. Для решения сформулированой задачи используется метод, основанный на сочетании положений малого параметра и конечных интегральных преобразований.*

Ключевые слова: нелинейная нестационарная теплопроводность, метод малого параметра, теплоемкость, коэффициент линейной зависимости, интегральное преобразование, граничные условия

В настоящее время важной научной проблемой является анализ нелинейной нестационарной теплопроводности методом интегральных алгоритмов.

Цель исследований – разработать метод решения нелинейной нестационарной задачи передачи тепла через одно- и многослойную стенку.

Материалы и методика исследований. Как показывает опыт [1…3] для многих материалов зависимость теплофизических характеристик от температуры будет линейной в достаточно широком

© Б. Х. Драганов, 2016

диапазоне изменения температур. Обрабатывая по способу наименьших квадратов экспериментальные данные, опубликованные в литературе, выразим теплопроводность и удельную теплоемкость в виде

$$\lambda = \lambda_0(1 + \varepsilon t); \tag{1}$$

$$C = C_0(1 + \beta t), \tag{2}$$

где λ_0 – теплопроводность материалов при 0^0 С;

C_0 – удельная теплоемкость при 00 С;

ε, β – коэффициенты линейной зависимости теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры.

Тогда для одномерной теплопередачи через однослойную стенку общее нелинейное уравнение теплопроводности

$$C_v(t_i)\frac{\partial t_i(x,y,z,\tau)}{\partial_\tau} = div[\lambda(t_i\, grad\, t_i(x,y,z,\tau)] + f(x,y,z,\tau) \tag{3}$$

примет вид

$$C_v(t_i)\frac{\partial t_i(x,\tau)}{\partial_\tau} = \frac{\partial}{\partial_x}\left[\lambda(t_i)\frac{\partial t_i(x,\tau)}{\partial_x}\right] + f(x,\tau), i = 1,2,\ldots,n. \tag{4}$$

Граничные условия II и III родов, куда входит теплопроводность λ, также становятся нелинейными.

Решение этих задач стало возможным благодаря разработке эффективных математических методов решения краевых задач для нелинейных уравнений в частных производных, с одной стороны, и достижениям науки о теплофизических свойствах веществ, с другой.

Исследования показывают [1], что параметры ε и β являются малыми в том смысле, что можно пренебречь их квадратами и произведениями. Тогда в выражении для температуры параметры ε и β останутся нулевой и первой степени, то есть, температуру будем искать в виде

$$t(x,\tau) = t_0 + \varepsilon t_{1\varepsilon} + \beta t_{1\beta} \tag{5}$$

Такое представление температуры позволяет ограничиться двумя приближения нулевым и двумя первыми по каждому их параметров ε и β. Нулевое приближение получается при нулевых значениях этих параметров. Физически это означает постоянство теплофизических характеристик взятых при 00 С, а сама задача нулевого приближения является линейной. Задачи первого приближения по ε и β получаются при подстановке выражения в нелинейное уравнение и приравниванием коэффициентов при первых степенях ε и β. В результате решения задач I приближения, получаем функции (в градусах в квадрате), которые, будучи соответственно умноженные на малые параметры ε и β (в 1 /град), определяют поправки к нулевому приближению на нелинейность температур. Так, задача I приближения по параметру ε дает поправку на нелинейность, учитывающую изменение теплопроводности λ от температуры, а задача I приближения по β – поправку на изменение удельной теплоемкости С от температуры.

Все три полученные линеаризованные задачи будем решать методом конечных интегральных преобразований. Изложим основы метода конечных интегральных преобразований для решения задач теплопроводности.

Исторически методы интегральных преобразований возникли позже классически, а метод интегральных преобразований в конечных и бесконечных пределах появился сравнительно недавно в работах А. В. Лыкова [1], Г. Ф. Мучника [2] и др. В сочетании с методом малого параметра, применительно к решению нелинейных задач теплопроводности однослойных и многослойных сред, он был применен в работах [3, 4].

Среди интегральных наиболее удобным является метод конечных интегральных преобразований, так как он позволяет переходить от изображений к оригиналам гораздо проще, чем в случаях других интегральных преобразований. Действительно, метод конечных интегральных преобразований, являясь обобщением метода разделения переменных, не требует сведения граничных условий к однородным, с одной стороны, и не приводит к трудностям, связанным с обратным переходом и неоднородными начальными условиями при применении преобразования Лапласа,– с другой.

В то же время, метод конечных интегральных преобразований приводит неоднородную краевую задачу теплопроводности в области изображений в случае однослойных стенок к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка, решение которого элементарно, а в случае многослойных стенок – к (п–1)-мерной векторной системе (2n+1) интегральных уравнений Вольтерра II рода, решение которых известно. В этом проявляется новая сторона метода конечных интегральных преобразований.

Укажем, что при совместном применении метода малого параметра и конечных интегральных преобразований, ядра преобразований для всех приближений по всем параметрам будут одинаковыми и определяемыми лишь граничными условиями.

В результате применения изложенного метода конечных интегральных преобразований, уравнение теплопроводности в области изображений перейдет в обыкновенное деференциальное уравнение I порядка.

Результаты исследований. Приведен метод решения нелинейных нестационарных задач теплопроводности многослойных стенок на основе совместного метода малого параметра и конечних интегральных преобразований [4] .

Для n-слойной стенки при линейной зависимости теплопроводности λ и удельной теплоемкости С от температуры

$$\lambda_i = \lambda_{0i}(1 + \varepsilon_i t_i), \qquad (6)$$

$$C_i = C_{0i}(1 + \beta_i t_i),\ i = 1,2,3,\dots,n \qquad (7)$$

параметры ε_i и β_i для большинства материалов являются малыми в том смысле, что можно пренебречь их квадратами и произведениями. Тогда нелинейность задачи будет обусловлена 2п малыми параметрами ε_i и β_i. Температуру в каждом слое можно представить в виде ряда Тейлора по степеням этих параметров

$$t_i(x,\tau) = t_{0i}(x,\tau) + \sum_{K=1}^{\infty} \varepsilon_K t_{Ki} + \sum_{m=n+1}^{2n} \beta_{m-n} t_m$$

$$i = 1,2,\dots,n, \qquad (8)$$

ограничиваясь, в силу их малости, лишь нулевой и первой степенью. Используя тот факт, что по условию сопряжения тепловой поток по абсолютной величине и направлению относительно оси x через смежные контактирующие поверхности в данный момент времени один и тот же [5], обозначим его через функцию $q_i(\tau)$:

$$\lambda_i(t_i)\frac{\partial t_i(l_i,\tau)}{\partial x} - \lambda_{i+1}(t_{i+1})\frac{\partial t_{i+1}(l_i,\tau)}{\partial x} - q_1(\tau);$$
$$i = 1,2,\dots,(n-1), \qquad (9)$$

где l_i точка контакта. Аналогично температуре, представим его в виде

$$q_i(\tau) = q_{0i}(\tau) + \sum_{K=1}^{n} \varepsilon_K q_{Ki} + \sum_{m=n+1}^{2n} \beta_{m-n} q_{mi}$$
$$i = 1,2,\dots,(n-1), \qquad (10)$$

Соотношения (7) и (10) имеют наглядный математический и физический смысл. С математической точки зрения, эти соотношения рассматриваются как функции 2п переменных ε_i, β_i и представляют собой первые члены разложения в ряду Тейлора при пренебрежении остальными членами. С другой стороны, формулы (8) и (10) показывают, что температуры в каждом слое и тепловые потоки на границах между слоями определяются слагаемыми, обусловленными постоянными составляющими теплопроводности и удельной теплоемкости Со, и слагаемыми, учитывающими изменение теплофизических характеристик от температуры всех слоев. Последних по числу малых параметров будет 2п.

Такое представление температур и тепловых потоков дает возможность расщепить нелинейную n-слойную задачу на (2п + 1) линейных задач n-слойных стенок. Это достигается следующим образом. Полагая в нелинейном уравнении ε_i и β_i равными нулю, приходим к линейной задаче, в которой теплофизические характеристики, взятые при 0°С, постоянны – получаем задачу нулевого приближения. Задача I приближения будет 2п – по числу малых параметров, умноженных на число слоев. Они получаются подстановкой (8) и (10) в исходное нелинейное уравнение и приравниванием коэффициентов при первых степенях соответствующих параметров. Так, приравнивая члены при первой степени ε_i, получаем первую задачу I приближения, учитывающую влияние параметра ε_i на общее температурное поле n-слойной стенки; приравнивая коэффициенты при первой степени ε_2 – вторую задачу I приближения, учитывающую влияние ε_2, и т. д. до п-й задачи, учитывающей влияние ε_n. Аналогично получаем задачи I приближения по параметрам β_i от $(n+1) - $й до $2n - $й.

Итак, мы обобщаем метод малого параметра на 2п параметров, ограничиваясь, в силу их малости, лишь нулевыми и I приближениями по этим параметрам, что говорит об асимптотическом решении нелинейной задачи в общепринятом методе. Отметим, что метод разложения по нескольким малым параметрам нелинейных задач известен.

Так как тепловые потоки нулевого приближения $q_{0i}(\tau)$ (аналогично тепловые функции I приближения $q_{ji}(\tau)$, j = ε, β) на основании равенства

(2.4) через смежные контактирующие среды будут одни и те же в данный момент времени, запишем их отдельно через каждую поверхность

$$\lambda_{0i}(t_i)\frac{\partial t_{0i}(l_i,\tau)}{\partial x} = q_{0i}(\tau); \tag{11}$$

$$\lambda_{0(i+1)}(t_{i+1})\frac{\partial t_{0(i+1)}(l_i,\tau)}{\partial x} = q_{0i(\tau)}. \tag{12}$$

Это позволит линейную задачу для n-слойной стенки разбить на п однослойных «несвязанных» задач. «Мостиком связи» смежных i и (i+1) слоев будут служить одинаковые по величине и направлению тепловые потоки (функции)$q_j(\tau)(\ j = 0, \varepsilon, \beta)$ в точках контакта l_i.

Каждую однослойную задачу будем решать методом конечных интегральных преобразований, используя разработанную методику в (1.2) и (1.3). Решение получим в виде ряда, где под знаком суммы будут стоять интегралы от 0 до т от неизвестных функций $q_i(\tau)$, одинаковых для смежных сред. Используя оставшиеся условия сопряжения, для двух полубесконечных тел в случае идеального контакта

$$\lambda_{01}(0,\tau) = \lambda_{02}(-0,\tau) \tag{13}$$

получим систему трех интегральных уравнений Абеля; для л-слойной неограниченной пластины при идеальном контакте,

$$\lambda_{01}(0,\tau) = \lambda_{02}(-0,\tau)\,. \tag{14}$$

В итоге, получим систему трех интегральных уравнений Абеля для n-слойной неограниченной пластины при идеальном контакте.

$$t_{0i}(l_i,\tau) = t_{0(i+1)}(l_i,\tau);\ i = 1,2,\dots,(n-1) \tag{15}$$

– (п–I)-мерную векторную систему (2n +1) интегральных уравнений Вольтерра I рода типа свертки, а при неидеальном контакте

$$q_{01}(\tau) = \frac{1}{R_1}\left[t_{0(i+1)}(l_i,\tau) - t_{0i}(l_i,\tau)\right];$$
$$i = 1,2,\dots,(n-1) \tag{16}$$

такую же систему интегральных уравнений Вольтерра II рода.

Будем рассматривать неидеальный тепловой контакт как наиболее общий (от него можно перейти к идеальному, положив R достаточно малым, порядка 10-7). Для тепловых потоков на границах слоев, введем (п–I)-мерный вектор-столбец

$$q(\tau) = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ q_{n-1} \end{pmatrix}. \tag{17}$$

Тогда выражение для потока (2.5) примет вид

$$q(\tau) = q_0 + \sum_{K=1}^{n} e_K q_K + \sum_{m=n+1}^{2n} \beta_{(m-n)} q_m\ . \tag{18}$$

Для разработки общей методики нелинейного теплотехнического расчета многослойных стенок следует рассматривать конкретные задачи.

Выводы

Анализ результатов исследования зависимости теплофизических. характеристик строительных материалов от температуры показал возможность их аппроксимации линейными функциями в диапазоне температур, характерных для реальных условий эксплуатации зданий. При этом коэффициенты зависимости теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры ε и β имеют порядок 10-3.

Список литературы

1. Лыков А. В. Конечные интегральные преобразования и их применения к решению задач теплопроводности / А. В. Лыков, А. В. Иванов // Тепло- и массообмен в процессах испарения. – М. : Моск. технол. ин-т пищевой пром-сти, 1957. – С.105–148.
2. Мучник Г. Ф. Методы теории теплообмена / Г. Ф. Мучник, И. Б. Рубушов. – М. : Высшая школа, 1970. – Ч. 1. – 288 с.
3. Айзен А. Н. Метод малого параметра в нелинейных задачах теплопроводности / А. М. Айзен, М. М.Назарчук, Л. Ф Черных. – К. : Зон. НИИ эксперимент. Проектирования, 1972. – Вып. 1. – С. 153–160.
4. Драганов Б. Х. Методика расчета теплового режима наружных ограждающих конструкций селькохозяйственных зданий / Б. Х. Драганов, Л. Ф. Черных, А. Р. Ферыш. – К. : УСХА, 1991. – 126 с.
5. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.

References

1. Lykov, A. V. (1957). Konechnyye integral’nyye preobrazovaniya i ikh primeneniya k resheniyu zadach teploprovodnosti [The final integral transformations and their application to solving problems of heat conduction]. Teplo – i massoobmen v protsessakh isperaniya. Moskow: Mosk. tekhnol. in-t pishchevoy prom-sti, 105–148.
2. Muchnik, G. F. Rubushov, I. D. (1970). Metody teorii teploobmena [Methods of heat transfer theory]. Moskow: Vysshaya shkola, CH.1, 288.
3. Ayzen, A. N., Nazarchuk, M. M., Chernykh, L. F. (1972). Metod malogo parametra v nelineynykh zadachakh teploprovodnosti [The small parameter method in nonlinear heat transfer problems]. Kyiv: Zon. NII eksperiment. Proyektirovaniya, 1, 153–160.
4. Draganov, B. Kh., Chernykh, L. F., Ferysh, A. R. (1991). Metodika rascheta teplovogo rezhima naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy sel’kokhazyaystvennykh zdaniy [Methods of calculating the thermal regime of the external walling agricultural buildings]. Kyiv: USKHA, 126.
5. Lykov, A. V. (1967). Teoriya teploprovodnosti [The theory of heat conduction]. Moskow: Vysshaya shkola, 599.

НЕЛІНІЙНА НЕСТАЦІОНАРНА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ СТІНКИ ЗА ГРАНИЧНИХ УМОВ III РОДУ

Б. Х. ДРАГАНОВ

Анотація. *Наведено метод розв'язання нелінійних нестаціонарних теплопередач через одну і багатошарову стінку для граничних умов III роду. Для вирішення сформульованої задачі*

використовується метод, заснований на поєднанні положень малого параметра і кінцевих інтегральних перетворень.
Ключові слова: нелінійна нестаціонарна теплопровідність, метод малого параметра, теплоємність, коефіцієнт лінійної залежності, інтегральне перетворення, граничні умови

NONLINEAR TRANSIENT HEAT CONDUCTION WALL IN KIND BOUNDARY CONDITIONS III

B. Draganov

Abstract. *A method for solution of nonlinear transient heat transfer through a single and multi-layer wall for the boundary of channel III kind. For the formulation of a problem solving method is used on the basis of the provisions of the promptness of a small parameter and finite integral transformation.*
Keywords: nonlinear transient heat transfer, small parameter method, the specific heat, the coefficient of linear dependence, the integral transformation, the boundary conditions

УДК 621.316.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ПНЕВМОМЕРЕЖІ МЛИНА В ППП «MATLAB»

П. Б. КЛЕНДІЙ, кандидат технічних наук
Г. Я. КЛЕНДІЙ, старший викладач
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»
О. П. ДУДАР, інженер
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний коледж»
e-mail: pklen_@i.ua

Анотація. *У програмному пакеті Matlab проведено дослідження регульованого електроприводу пневмотранспортної установки млина Р6-АВМ-15, де визначено енергетичні показники при стохастичному завантаженні пневмомережі.*
Ключові слова: регульований електропривод, імітаційна модель, енергетичні показники, електромеханічна система

Дослідження режимів роботи електромеханічних систем із використанням фізичних моделей має наближений характер, оскільки фізична реалізація випадкових функцій навантаження є складною. Тому

© П. Б. Клендій, Г. Я. Клендій, О. П. Дудар, 2016