12. Гнездилова, Ю. П. Электроосаждение железо-молибденовых покрытий и их сульфоцианирование для упрочнения и восстановления деталей машин [Текст]: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов» / Ю. П. Гнездилова. — Курск, 2008. — 189 с.
13. Гороховская, В. И. Практикум по электрохимическим методам анализа [Текст] / В. И. Гороховская, В. М. Гороховский. — М.: Высшая школа, 1983. — 191 с.
14. Перевощикова, Н. Б. К вопросу о гидролизе ионов железа (III) в водных растворах [Текст] / Н. Б. Перевощикова, В. И. Корнев // Вестник Удмуртского университета: электронный научный журнал. Химия. — 2006. — Вып. 8. — С. 189–198. — Режим доступа: http://vestnik.udsu.ru/2006/2006-08/vuu_06_08_17.pdf. — 18.07.2014.
15. Гейровский, Я. Основы полярографии [Текст]: пер. с чеш. / Я. Гейровский, Я. Кута. — М.: Мир, 1965. — 559 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КАТОДНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗА З ЕЛЕКТРОЛІТІВ НА ОСНОВІ Fe (III)

Методом лінійної вольтамперометрії вивчені особливості катодного відновлення заліза з електролітів на основі Fe^{3+}. Показано, що в ході катодної реакції відбувається одночасний розряд іонів Fe^{3+}, $FeOH^{2+}$ і FeO^{+}, причому співвідношення їх концентрацій визначається ступенем гідролізу заліза і pH розчину. Встановлено кінетичні закономірності катодної реакції, визначені характеристичні параметри окремих стадій і запропоновано механізм процесу відновлення Fe^{3+}.

Ключові слова: адсорбція, гідроліз, залізо, кінетика, катодне відновлення, механізм процесу, електроліт.

Ермоленко Ирина Юрьевна, *кандидат технических наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина,* ***e-mail: kirilesha72@yandex.ru****.*

Єрмоленко Ірина Юріївна, *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, науково-дослідна лабораторія, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

Yermolenko Iryna, *National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine,* ***e-mail: kirilesha72@yandex.ru***

УДК 512.774.46

Слесаренко А. П.,
Журавлёв Ю. В.,
Жиленко В. Б.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ S-ФУНКЦИЙ

Разработана методология моделирования формообразования поверхностей, описываемых весовыми функциями, построенными на базе решений обратных задач дифференциальной геометрии с помощью S-функций. Результаты решений обратных задач дифференциальной геометрии использованы при построении консервативных структур решения задач теплопроводности, точно удовлетворяющих граничным условиям третьего рода. Структура решения учитывает влияние граничных воздействий только в граничном пояске области решения задачи.

Ключевые слова: *моделирование тепловых процессов, структура решения, S-функция, формообразование поверхностей.*

1. Введение

Исследование, представленные в статье, относятся к области моделирования формообразования поверхностей и тепловых процессов с помощью консервативных структур решения задач тепловодности.

При решении научно-технических задач, имеющих большое прикладное значение, области исследования тепловых процессов, как правило, имеют сложную форму. Это требует создания новых эффективных методов учета геометрической информации и информации о граничных условиях в методах расчета физических полей.

Поскольку применение классических аналитических методов к решению нелинейных нестационарных задач теплопроводности встречает принципиальные трудности математического характера, особое значение приобретает разработка приближенных аналитических методов, в которых геометрия области и граничные условия учитывались бы точно, а дифференциальное уравнение теплопроводности удовлетворялось бы приближенно с привлечением вариационных или проекционных методов.

Задача построения уравнения заданного сложного геометрического объекта («чертежа») является частным случаем более общей задачи, в которой искомая функция в точках этого «чертежа» должна принимать некоторые, вообще говоря, ненулевые значения или удовлетворять заданным условиям для первых и вторых производных, так как вторые производные характеризуют кривизну участков границы. Именно с такого рода задачами чаще всего приходится иметь дело при решении краевых задач, описываемых уравнениями с частными производными.

Температурное поле в исследуемых областях зависит не только от величины и характера распределения внутренних и внешних источников тепла, его теплофизических характеристик, но и от формы границы области.

Актуальность темы состоит в том, что предмет исследования еще не нашел достаточно глубокого концептуального анализа в науке, хотя имеет важное теоретическое и практическое значение при решении краевых задач, описываемых уравнениями с частными производными.

2. Анализ исследований и публикаций

В методах Фурье и конечных интегральных преобразований [1–3] учет геометрической информации проводится за счет выбора системы координат (декартовой, полярной, цилиндрической, параболической и т. д.), в которой граница области совпадает с координатными линиями, в методе конформных отображений — путем построения соответствующей функции, отображающей область неканонической формы на область канонической формы.

В численных методах, например, в методе конечных разностей [4, 5] геометрическая информация учитывается с помощью криволинейных сеток, которые позволяют с минимальной погрешностью расположить узлы разностных сеток на границе области.

Представленный в монографиях [6, 7] структурный метод не позволил полностью решить эту проблему, так как применяемые R-функции [6, 7] для построения уравнения $\omega(x,y)\big|_{\Gamma}=0$ границы Γ исследуемой области Ω вносили в приближенные структуры решения задач теплопроводности с граничными условиями второго и третьего родов сингулярные особенности в угловые точки области и делали значение соответствующего функционала энергии для данной краевой задачи равной бесконечности. Это противоречит физическим законам об ограниченности энергии. Поэтому применение S-функций, предложенных в работах [8–10] для построения уравнения $\omega(x,y)\big|_{\Gamma}=0$ границы Γ исследуемой сложной области Ω позволили решить эту проблему, а также обратную задачу дифференциальной геометрии.

3. Постановка проблемы

Цель статьи — разработка методологии моделирования формообразования поверхностей, описываемых весовыми функциями, построенными в результате решения обратных задач дифференциальной геометрии с помощью S-функций. Построение консервативных структур задач теплопроводности с учетом влияния граничных воздействий только в граничном пояске области решения задачи.

Для достижения поставленной цели необходимо совместное использования алгебры логики и S-функций при решении обратной задачи дифференциальной геометрии.

4. Алгебра логики и S-функция в обратных задачах дифференциальной геометрии

Перейдем к рассмотрению вопросов совместного использования алгебры логики [6, 7] и S-функций [8–10] при решении обратной задачи дифференциальной геометрии, результаты решения которой позволяют не только описать уравнения границ и поверхностей различных областей, но и строить непрерывно-дифференцируемые структуры решения задач тепловодности и входящие в них базисные функции, точно удовлетворяющие однородным нестационарным граничным условиям.

Алгебра логики [6, 7] использует для описания сложных геометрических объектов более простые («опорные») объекты формообразования, для которых имеются готовые уравнения вида $f=0$ или неравенства $f\geq 0$, предлагаемые обычной аналитической геометрией и анализом. В дальнейшем «простыми» будут считаться прямые, окружности, сферы, кривые и поверхности второго порядка, графики основных элементарных функций и т. д., а такие объекты, как квадрат, усеченный конус, элементы двигателя внутреннего сгорания и др. будут считаться сложными.

Геометрические объекты часто задают с помощью уравнений, неравенств, систем уравнений и т. д. От такого задания можно перейти к предикатному, если условиться считать то или иное условие, заключенное в скобки, предикатом, принимающим значение 1, когда это условие выполняется, и 0, в противном случае.

Используя подобную конструкцию записи, а также методы алгебры логики, можно построить предикат практически для всякого геометрического объекта, составленного из кусков известных линий, поверхностей или ограниченных ими областей. Для некоторых классов геометрических объектов предикатное описание может быть автоматизировано [6, 7].

С точки зрения задач теплопроводности, достаточно ограничиться S-функциями, соответствующими разбиению числовой оси на положительные (с включением нуля) и отрицательные числа.

Рассмотрим предикат $P_2(x)$, определенный на числовой оси следующим образом:

$$P_2(x)=\begin{cases}0, \text{ если } x<0,\\ 1, \text{ если } x\geq 0.\end{cases} \quad (1)$$

Исходя из описанного выше понятия S-функций, при разбиении числовой оси на интервалы $(-\infty,0)$ и $[0,+\infty)$ приходим к выводу, что функция $y=f(x_1,...x_n)$ является S-функцией, если существует такая булева функция F, что выполняется равенство:

$$P_2[f(x_1,...,x_n)]=F[P_2(x_1),...,P_2(x_n)]. \quad (2)$$

Теорема. *Пусть H есть некоторая система S-функций, а H_1 — соответствующая система сопровождающих функций алгебры логики. Тогда, если система H_1 является полной, то система H является достаточно полной.*

Нетрудно убедиться в том, что функции:

$$\begin{aligned}&\bar{x}\equiv -x,\\ &x\underset{S}{\wedge}y=-b+\exp(x)+\exp(y)-\sqrt[2k]{\exp(2kx)+\exp(2ky)},\\ &x\underset{S}{\vee}y=-b+\exp(x)+\exp(y)+\sqrt[2k]{\exp(2kx)+\exp(2ky)},\end{aligned} \quad (3)$$

и функции:

$$\begin{aligned}&\bar{x}\equiv -x,\\ &x\underset{S}{\wedge}y=x+y-\sqrt[2k]{x^{2k}+y^{2k}+\beta_1\exp[-\beta_2(x^{2k}+y^{2k})]},\\ &x\underset{S}{\vee}y=x+y+\sqrt[2k]{x^{2k}+y^{2k}+\beta_1\exp[-\beta_2(x^{2k}+y^{2k})]},\end{aligned} \quad (4)$$

являются S-функциями, а сопровождающими их являются «булевские» отрицание $\bar{X}$, конъюнкция $X\wedge Y$, дизъюнкция $X\vee Y$. В S-функциях (3) на параметры b и k накладываются условия $2-\sqrt[2k]{2}\leq b\leq 1$, $k\geq 2$, а для параметров β_1, β_2 и N в S-функциях (4) — $\beta_1=10^{-N}$,

$\beta_2 = 10^N$, $N \geq 3,...,10$. Так как вышеприведенная система булевых функций является полной, то системы (3) и (4) S-функций являются достаточно полными.

Построение S-функции, для которой данная булева функция $F(X_1,...,X_n)$ является сопровождающей, осуществляется по простому правилу. Достаточно представить функцию $F(X_1,...,X_n)$ в виде формулы, составленной из названных выше булевых функций, а затем произвести формальную замену символов логики соответствующими символами S-функций и символы булевых переменных (большие латинские буквы) заменить соответствующими символами аргументов (малыми латинскими буквами).

5. Построение уравнений границ областей не канонической формы и моделирование формообразования поверхностей

Граница Γ_S области Ω в виде креста, образованная частью полос $0,1 \times 0,5$ и $0,6 \times 0,2$, построенная с помощью S-функций при $N = 20$, $k = 4$ показана на рис. 1. При этом опорные функции имеют вид:

$$f_{11} = (0,3 - x)(x - 0,2), \quad f_{12} = y(0,5 - y),$$
$$f_{21} = x(0,6 - x), \quad f_{22} = (0,3 - y)(y - 0,1).$$

Уравнение $\omega_S\big|_{\Gamma_S} = 0$ строится с помощью S-функций в виде:

$$\omega = (f_{11} \underset{S}{\wedge} f_{12}) \underset{S}{\vee} (f_{21} \underset{S}{\wedge} f_{22}) = 0.$$

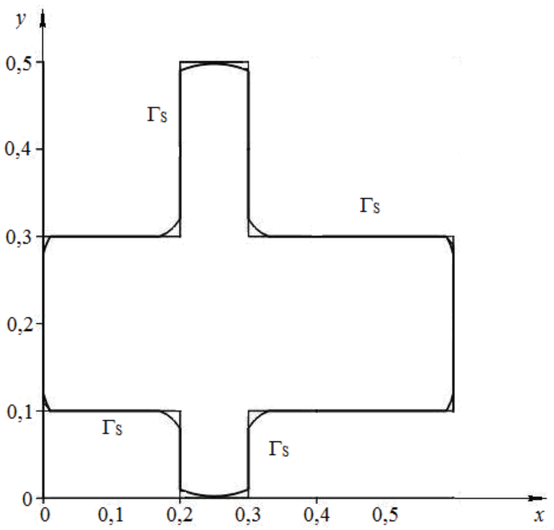

Рис. 1. Граница Γ_S области Ω_S, построенная с помощью S-функций

На рис. 2 показаны поверхности, описываемые функцией $\omega_S(x,y)$ внутри области Ω_S. Светлая поверхность описывается функцией $\omega_S(x,y)$ без управляющих функций, темная поверхность описывается функцией $\omega_S(x,y)$ с использованием управляющих функций:

$$\begin{cases} \widetilde{f}(x) = f(x) \cdot \left(1 + a_1 \cdot f(x) + \sum\limits_n a_n \cdot f^n(x)\right), \; n = 2...k; \\ f''(x) \cdot \left(1 + a_1 \cdot f(x)\right) = 0, \end{cases}$$

где коэффициенты $a_1, a_2, ..., a_n$ выбираются таким образом, чтобы вторая производная на границе области была равна второй производной от опорной функции на этом же участке границы и поверхность, описываемая функцией $\omega_S(x,y)$, внутри области имела форму плоскости, а в приграничном регионе области плавно от некоторой постоянной величины переходила к значению, равному нулю, т. е. к описанию границы области.

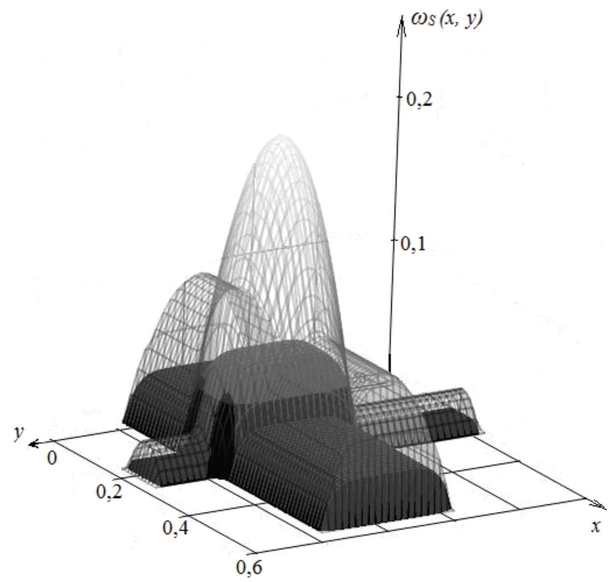

Рис. 2. Поверхности, описываемые функциями $\omega_S(x,y)$ в области Ω_S

Функция ω_S для крестообразной области Ω_S с управляющими функциями строится с помощью S-функций следующим образом:

$$\omega_S = (\widetilde{f}_{11} \underset{S}{\wedge} \widetilde{f}_{12}) \underset{S}{\vee} (\widetilde{f}_{21} \underset{S}{\wedge} \widetilde{f}_{22}) = 0.$$

6. Построение консервативных структур решения задач теплопроводности

Рассмотрим краевую задачу теплопроводности, описываемую уравнением:

$$AT = F \quad \text{внутри} \quad \Omega,$$

при краевых условиях, в том числе начальном условии и условиях теплового контакта на границе раздела сред:

$$L_i T = \phi_i, \quad i = \overline{1,m},$$

где L_i — граничный оператор нулевого или первого порядка.

Для того, чтобы получить приближенное аналитическое решение задач теплопроводности, необходимо построить структуры решения в виде:

$$T(x,y) = \Phi_0(x,y) + \sum_{i,j} C_{ij} \chi_{ij}(x,y),$$

где $\Phi_0(x,y)$ — функция, точно удовлетворяющая неоднородным ГУ первого, второго и третьего рода, χ_{ij} — базисные функции, точно удовлетворяющие однородным

ГУ первого, второго или третьего рода, C_{ij} — неизвестные коэффициенты, которые определяются вариационным методом Ритца или проекционным методом Галёркина.

Структура решения задачи теплопроводности называется *консервативной*, если функционал вариационной задачи для соответствующих ГУ с использованием структуры решения является непрерывно-дифференцируемой и ограниченной функцией в соответствии с физической моделью теплового процесса.

Рассмотрим вопросы построения структур решения задач теплопроводности.

Запишем граничные условия II рода в виде:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = q_{\Gamma}. \tag{5}$$

При задании граничных условий II рода на границе области температура должна равняться некоторой функции Φ_1, т. е.:

$$T|_{\Gamma} = \Phi_1. \tag{6}$$

Если функция Φ_1 вполне определена, то это значение температуры на границе будет заранее «навязываться» решению, которое разыскивается.

Положим в $\Omega \cup \Gamma$:

$$T = \Phi_1 + \Phi_2.$$

Выберем теперь Φ_2 так, чтобы при этом удовлетворялось граничное условие (5):

$$\left.\frac{\partial T}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = \left.\frac{\partial \Phi_1}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} + \left.\frac{\partial \Phi_2}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = q|_{\Gamma} = q_0,$$

Так как $\left.\frac{\partial \Phi_1}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = D_1\Phi_1|_{\Gamma}$, то $\left.\frac{\partial \Phi_2}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = q_0 - D_1\Phi_1|_{\Gamma}$.

Если положить:

$$\Phi_2 = \omega\left[q_0 - (D_1\Phi_1)|_{\Gamma}\right],$$

и учитывать, что функция ω построена с помощью S-функций и удовлетворяет условиям:

$$\omega|_{\Gamma} = 0, \quad \omega > 0 \ \text{ внутри } \Omega, \quad \left.\frac{\partial \omega}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = 1,$$

то будут удовлетворены как соотношение (6), так и граничное условие (5).

Построив структуру решения задачи в виде:

$$T = \Phi_1 + \omega\left[q_0 - (D_1\Phi_1)|_{\Gamma}\right],$$

на контуре Γ получим:

$$T|_{\Gamma} = \Phi_1,$$

т. е. условие (6) удовлетворяется.

Далее:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = \left.\frac{\partial \Phi_1}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} + \left.\frac{\partial \omega}{\partial \nu}\right|_{\Gamma}\left[q - D_1\Phi_1\right]_{\Gamma} +$$

$$+\omega|_{\Gamma}\frac{\partial}{\partial \nu}\left[q - D_1\Phi_1\right]_{\Gamma} = q|_{\Gamma} = q_0,$$

так как

$$\left.\frac{\partial \omega}{\partial \nu}\right|_{\Gamma} = 1, \quad \omega|_{\Gamma} = 0, \quad D_1\Phi_1| = \left.\frac{\partial \Phi_1}{\partial \nu}\right|_{\Gamma}.$$

Таким образом, структура решения задачи Неймана в соответствии с (II. 19) может быть принята в виде:

$$T = \Phi + \omega q - \omega \cdot (D_1\Phi)|_{\Gamma},$$

где

$$\Phi = \sum_{k+j=0}^{n} C_{kj} P_k\left(\frac{x-d_1}{b_1}\right) P_j\left(\frac{y-d_2}{b_2}\right),$$

где $P_k\left(\frac{x-d_S}{b_S}\right)$ — полиномы Чебышева, Лежандра или другие ортогональные полиномы с определенным весом на отрезке $[-1;\ 1]$. Здесь d_S и b_S — постоянные величины, выбираемые для прямоугольных областей так, чтобы точка с координатами (d_1, d_2) оказалась центром прямоугольника со сторонами $2b_1$ и $2b_2$ (рис. 3). При этом полиномы $P_i\left(\frac{x-d_1}{b_1}\right)$ и $P_j\left(\frac{x-d_2}{b_2}\right)$ ортогональны с известными весами [5, 6] на отрезках $[d_1 - b_1; d_1 + b_1]$ и $[d_2 - b_2; d_2 + b_2]$, что упрощает составление алгебраических уравнений для определения постоянных C_{kj} с помощью того или иного вариационного метода.

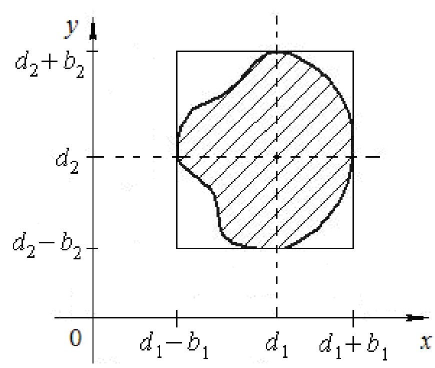

Рис. 3. Выбор координат d_1 и d_2 для прямоугольной области

Запишем граничные условия III рода в виде:

$$\left.\left(\frac{\partial T}{\partial \nu} + h_0 T\right)\right|_{\Gamma} = f_0, \tag{7}$$

где так же, как и в задаче Неймана, на границе области:

$$T\big|_{\Gamma} = \Phi_1, \quad (8)$$

а Φ_1 — искомая функция.

Учитывая, что в граничном условии (7) $f_0 = hT_{ср}$.

Построим структуру решения задачи теплопроводности, точно удовлетворяющим граничному условию (7) таким образом, чтобы при:

$$h \to \infty \quad T \to T_{ср}. \quad (9)$$

Для этого в структуре решения:

$$T = T_{ср}\left[\Phi - \omega \cdot (D_1\Phi)\big|_{\Gamma}\right]\psi,$$

функцию ψ выберем так, чтобы выполнялось условие (9).

Учитывая, что $T\big|_{\Gamma} = T_{ср} + (\Phi\psi)\big|_{\Gamma}$:

$$\frac{\partial T}{\partial \nu}\Big|_{\Gamma} = \Phi \frac{\partial \psi}{\partial \nu}\Big|_{\Gamma}.$$

И используя условие (7), получим:

$$\Phi \frac{\partial \psi}{\partial \nu}\Big|_{\Gamma} + hT_{ср} + h\Phi\psi = hT_{ср}.$$

Отсюда:

$$\Phi\left[\frac{\partial \psi}{\partial \nu} + +h\psi\right]\Big|_{\Gamma} = 0.$$

Так как $\Phi \neq 0$, то $\left[\frac{\partial \psi}{\partial \nu} + +h\psi\right]\Big|_{\Gamma} = 0$.

При этом получим:

$$\psi = \exp(-\omega h).$$

Окончательно для структуры решения задачи теплопроводности, точно удовлетворяющим условиям (7) и (9), получим:

$$T = T_{ср}\left[\Phi - \omega \cdot (D_1\Phi)\big|_{\Gamma}\right]\exp(-\omega h),$$

где Φ выбирается как в предыдущей задаче.

7. Выводы

Структурный метод является эффективным аналитическим методом решения задач теплопроводности, а S-функции, введенные в работах [7–9], образуют множество, пересекающееся с множеством обычных элементарных функций. Это позволяет при использовании S-функций не выходить за рамки обычно применяемых средств написания формул. Легко проводить различные аналитические и вычислительные операции, выполнять дифференцирование и т. п.

Характерной особенностью S-функций является то, что каждой из них соответствует определенная функция двузначной логики — булева функция. Это позволяет в классическом непрерывном анализе использовать современные методы алгебры логики и на этой основе моделировать физические поля в областях сложной формы с однородной и неоднородной средами.

В структурном методе предполагается обязательное подключение одного из вариационных методов, метода взвешенных невязок или вариационно-разностного метода. Он является тем методом, который впервые позволяет на аналитическом уровне точно учесть содержащуюся в постановке краевой задачи геометрическую информацию. Структурный метод дает возможность строить такие структуры решения краевых задач, которые при любом выборе неизвестных компонент в структуре решения точно удовлетворяют всем краевым условиям. В то же время обеспечивается и достаточно хорошее приближение к точному решению краевой задачи. При этом возможен учет различного рода априорной информации об искомом решении, которую частично можно извлечь из известных точных решений подобных (модельных) задач. Это приводит к повышению «качества» аналитических структур решения задач. Главная тенденция в развитии структурного метода состоит в том, чтобы сводить задачи расчета физических полей к отысканию неизвестных функций с более регулярным поведением. Важным качеством структурного метода по сравнению с численными методами является то, что он эффективно позволяет сжать информацию о результатах решения краевых задач и позволяет на несколько порядков увеличить скорость анализа тепловых процессов.

Следует отметить, что S-функции впервые позволяют решать не только обратные задачи дифференциальной геометрии, но и управлять формообразованием поверхности, описываемой непрерывно-дифференцированной функцией $\omega(x,y)$. В этом случае, кроме точного описания гладкой поверхности области, функция $\omega(x,y)$ удовлетворяет заданным дифференциальным условиям не только на поверхности, а и внутри области Ω. Это дает возможность описать с помощью функции $\omega(x,y)$ поверхность в форме перевернутой тарелочки с плоским дном вне граничного пояска области Ω. Таким образом, приближенная математическая модель тепловых процессов, построенная модифицированным структурным методом приводится в полное согласование с физической моделью теплового процесса по аналогии с качественными особенностями подхода в методах граничных элементов [11].

Литература

1. Мацевитый, Ю. М. Обратные задачи теплопроводности [Текст]. Т. 1: Методология / Ю. М. Мацевитый. — К.: Наукова думка, 2002. — 408 с.
2. Мацевитый, Ю. М. Обратные задачи теплопроводности [Текст]. Т. 2: Приложения / Ю. М. Мацевитый. — К.: Наукова думка, 2003. — 392 с.
3. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередачи [Текст] / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. — М.: Едиторнал УРСС, 2003. — 784 с.
4. Мареев, В. В. Основы методов конечных разностей [Текст] / В. В. Мареев, Е. Н. Станкова. — Спб.: Изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2012. — 64 с.
5. Чепаченко Ю. И. Метод конечных разностей для решения уравнения теплопроводности [Текст]: материалы XIII Республиканской студенческой конференции, 23–27 апреля 2012 г. / Ю. И. Чепаченко; научн. рук. И. А. Трусова; ред. Н. И. Иваницкий // Новые материалы и технологи их обработки. — Минск: БНТУ, 2012. — 106 с.

6. Слесаренко, А. П. Моделирование нелинейных тепловых процессов на базе совместного применения метода возмущений, регионально-структурного и вариационного методов [Текст] / А. П. Слесаренко, Т. В. Бутенко // Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. Серія «Математичне моделювання». — 2008. — Вип. 10, № 833. — С. 89–96.
7. Слесаренко, А. П. Идентификация нелинейной нестационарной зависимости мощности источника энергии от температуры на базе вариационно-структурного и проекционных методов [Текст] / А. П. Слесаренко, Н. А. Сафонов // Проблемы машиностроения. — 2010. — Т. 13, № 6. — С. 58–63.
8. Слесаренко, А. П. S-функции в обратных задачах аналитической геометрии и моделировании тепловых процессов [Текст] / А. П. Слесаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 3/4(51). — С. 41–46.
9. Слесаренко, А. П. S-функции в построении консервативных структур решения геометрических обратных краевых задач [Текст] / А. П. Слесаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 2/4(56). — С. 60–66.
10. Choi, I. G. Mathematical modeling of radioactive waste glass melter [Electronic resource] / I. G. Choi // Conference: Symposium on nuclear waste management, Cincinnati, OH (United States), 28 Apr — 2 May 1991. — United States: DOE; USDOE, Washington, DC, 1990. — Available at: \www/URL: http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5637005.
11. Бребия, К. Методы граничных элементов [Текст] / К. Бребия. Ж. Теллес, Л. Вроубел. — М.: Мир, 1987. — 524 с.

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ S-ФУНКЦІЙ

Розроблена методологія моделювання формоутворення поверхонь, описуваних ваговими функціями, побудованими на базі рішень зворотних завдань диференційної геометрії за допомогою *S*-функцій. Результати вирішень зворотних завдань диференціальної геометрії використані при побудові консервативних структур вирішення завдань теплопровідності, що точно задовольняють граничним умовам третього роду. Структура рішення враховує вплив граничних дій лише в граничному поясочку області рішення задачі.

Ключові слова: моделювання теплових процесів, структура рішення, S-функція, формоутворення поверхонь.

Слесаренко Анатолий Павлович, *доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, лауреат Государственной премии Украины, отдел моделирования и идентификации тепловых процессов, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина.*
Журавлёв Юрий Владимирович, *кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизации производственных процессов, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина.*
Жиленко Владимир Борисович, *инженер, ассистент, заведующий лабораторией электротехники, кафедра автоматизации производственных процессов, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина.*

Слесаренко Анатолій Павлович, *доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник, лауреат Державної премії України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна.*
Журавльов Юрій Володимирович, *кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизації будівничих процесів, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна.*
Жиленко Володимир Борисович, *інженер, асистент, завідувач лабораторії електротехніки, кафедра автоматизації будівничих процесів, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна.*

Slesarenko Anatoliy, *A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.*
Ghuravlev Yuriy, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine.*
Ghilenko Vladimir, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine*

UDK 66.14.683

Абдуллах Джалал Мохаммед,
Ал Хайят Мохаммед Надим Касим

РОЗРАХУНОК СТАБІЛЬНОЇ РОБОТИ ВИХРОВОГО РОЗПИЛЮЮЧОГО ПРОТИТОЧНОГО МАСООБМІННОГО АПАРАТУ (ВРПМА) В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОКРАПЕЛЬНОГО ПОТОКУ

У даній роботі наведено методику вибору стійких режимів роботи вихрового розпилюючого протиточного масообмінного апарату (ВРПМА), яка включає розрахунок польоту крапель з урахуванням однорідності потоку і їх взаємного впливу один на одного. В результаті теоретичних і практичних досліджень вдалося визначити швидкість потоку газу і крапель, співвідношення відцентрових сил і сил аеродинамічного опору.

Ключові слова: *масоперенос, швидкість, пристрій, вихор, крапля, апарат, розрахунок.*

1. Introduction

Lately, the world faces an acute lack of energy and raw material resources. This causes the need for using new, low-waste and highly-effective technological processes with minimal losses, full heat recovery, purification of wastewater and gases. Their creation is impossible without devices with high specific indicators. Therefore, developing a new