

Отзыв

на PhD диссертацию «Метод тепловых полиномов и специальных функций для задач теплопроводности в областях со свободными границами и их приложения», представленную к защите PhD докторантом Наурызом Таргыном Атанбековичем по специальности 6D070500 – математическое и компьютерное моделирование.

Диссертация посвящена разработке математических моделей теплофизических процессов взаимодействия электрической дуги с электродами, которые базируются на задачах стефановского типа в областях, вырождающихся в начальный момент времени. Сложность их решения состоит в том, что они являются многопараметрическими, и численные методы решения не способны дать ответ о взаимовлиянии этих многочисленных параметров на динамику процессов тепло- и массопереноса. Аналитические методы основаны, как правило, на редукции первоначальной задачи Стефана к системе нелинейных интегральных уравнений. В случае, когда в начальный момент времени область вырождается в точку, такие интегральные уравнения становятся сингулярными, и их решение крайне затруднено. В представленной работе предлагается альтернативный метод решения, при котором оно представляется в виде линейной комбинации (ряд или конечная сумма) тепловых полиномов и специальных функций с неопределенными коэффициентами, удовлетворяющих а priori уравнению теплопроводности. Коэффициенты выбираются так, чтобы обеспечить точно или приближенно краевым условиям. Основное достоинство этого метода состоит в том, что в силу принципа максимума погрешность приближенного решения не превышает погрешности аппроксимации краевых условий, которую можно оценить.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка использованной литературы. В первой главе даются основные определения и свойства тепловых полиномов и специальных функций, которые будут использованы в дальнейшем для решения поставленных задач. Здесь следует отметить полученное диссертантом распространение известных ранее свойств одномерных тепловых потенциалов, а также комбинацию вырожденных гипергеометрических функций для случая обобщенного уравнения теплопроводности.

Вторая глава посвящена решению различных задач типа Стефана с помощью тепловых полиномов и интегральных функций ошибок. Используемый автором метод решения основан на разложении решения в ряды композиций функций на базе формулы Фаа ди Бруно, и требует скрупулезного анализа и большой вычислительной работы, с которой диссертант успешно справился. Он продемонстрировал хорошую технику анализа решений сложных систем уравнений и получил результаты, которые могут быть использованы в практических расчетах динамики теплофизических процессов в электрических контактах.

В третьей главе работы рассмотрены задачи типа Стефана с усиленной нелинейностью, которая связана не только с самим условием Стефана на границе фазового перехода, но и с нелинейной температурной зависимостью коэффициентов теплопроводности, удельной теплоемкости и плотности. Задачи подобного типа привлекают повышенное внимание в последнее время в связи с моделированием электродуговых процессов, где параметры дуги существенно зависят от температуры. Т. Наурызу удалось обобщить метод подобия для решения подобных

задач на случай сферического уравнения теплопроводности. В соответствии с этим подходом рассматриваемая задача Стефана была редуцирована к системе нелинейных интегральных уравнений, разрешимость которой была доказана. Этот метод оказался эффективным не только для однофазной, но и для двухфазной задачи Стефана для сферического уравнения теплопроводности. Полученный результат был использован для математического моделирования динамики процессов в короткой дуге при самопроизвольном отбросе электрических контактов в период перехода металлической фазы дуги в газовую фазу. В частности, было показано, что силы давления металлического пара сравнимы по величине с электродинамическими силами и играют определяющую роль в механизме самопроизвольного отброса. Это результат получил высокую оценку на 21 Международной конференции по явлениям в электрических контактах (ICES-2021, Online, Швейцария, 7-12 июня 2021 г.), где он был доложен.

Публикации достаточно полно освещают результаты выполненной работы. Следует отметить, что в совместных публикациях мне принадлежит лишь постановка задач, а огромная работа по их решению является заслугой диссертанта. Он продемонстрировал свое умение ориентироваться в сложных вопросах практического решения и доведения полученных результатов до практического применения. Вместе с тем он показал умение не только решать, но и самому ставить задачи, требующие решения. В частности, постановка обратных задач Стефана, метод коллабораций и вариационный метод для их решения принадлежат самому диссертанту.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что она вносит существенный вклад в развитие методов решения задач со свободной границей и моделирование электродуговых процессов, а ее автор, Е. Наурыз, заслуживает присуждения ему искомой степени PhD по специальности математическое и компьютерное моделирование.

Научный консультант, д.ф.-м.н., профессор, академик НАН РК



С.Н. Харин