

Сопоставление математических моделей динамики электрически заряженных газовзвесей для различных концентраций дисперсной компоненты

Д. А. Тукмаков^{1*}

¹ Федеральний исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», Казань, Россия

*tukmakovda@imm.knc.ru

Аннотация. Работа посвящена математическому моделированию динамики неоднородных электрически заряженных сред. В работе рассматриваются неоднородные среды газовзвеси – взвешенные в газе твердые частицы. Математическая модель реализует континуальный подход к моделированию динамики неоднородных сред. Полная гидродинамическая система уравнений решается для каждого компонента. Система уравнений динамики каждого компонента включает уравнения неразрывности массы, компоненты импульса и уравнение сохранения энергии для компонента смеси. Межкомпонентное взаимодействие учитывает обмен импульсом (силу аэродинамического сопротивления, силу присоединенных масс, динамическую силу Архимеда) и межкомпонентную теплопередачу. Несущая среда описывается как вязкий сжимаемый теплопроводный газ, течение – как поток с двумерной геометрией. Уравнения математической модели дополнены начальными и граничными условиями. Математическая модель учитывает пристеночную вязкость в канале. Система уравнений математической модели интегрирована явным конечно-разностным методом. Для получения монотонной сеточной функции использовалась нелинейная схема коррекции численного решения. Математическая модель дополнена уравнением Пуассона, описывающим электрическое поле, образованное электрически заряженными дисперсными включениями. Уравнение Пуассона интегрировано конечно-разностными методами на газодинамической сетке. Такой выбор расчетной сетки был необходим для расчета концентрации частиц, требуемой как для решения уравнения электрического поля, так и для расчета физических полей динамики неоднородных сред. Численно исследовано течение газовзвеси, вызванное движением дисперсных частиц под действием силы Кулона. Определены значения поверхностной и массовой плотностей, при которых результаты расчетов совпадают. Выявлено, что поверхностная и массовая модели зарядов эквивалентны относительно объемного содержания дисперсной компоненты.

Ключевые слова: вычислительные эксперименты, численное моделирование, конечно-разностные методы, неоднородные среды, электрогидродинамика

Для цитирования: Тукмаков Д. А. Сопоставление математических моделей динамики электрически заряженных газовзвесей для различных концентраций дисперсной компоненты // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 1. С. 39–54. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-1-39-54

Comparison of mathematical models of the dynamics of electrically charged gas suspensions for various concentrations of the dispersed component

D. Tukmakov¹*

¹ FIC KazansSC of RAS, Kazan, Russia

* tukmakovda@imm.knc.ru

Abstract. This work is devoted to mathematical modeling of the dynamics of inhomogeneous electrically charged media. A dusty environment - solid particles suspended in a gas - is considered as an inhomogeneous medium. The mathematical model implemented a continuous approach to modeling the dynamics of inhomogeneous media. The complete hydrodynamic system of equations was solved for each component. The system of equations for the dynamics of each component included the equations of mass continuity, momentum components, and the energy conservation equation for the mixture component. Intercomponent interaction took into account momentum exchange and intercomponent heat transfer. The carrier medium was described as a viscous compressible heat-conducting gas. The flow was described as a flow with a two-dimensional geometry. The equations of the mathematical model were supplemented with initial and boundary conditions. The mathematical model took into account the wall viscosity in the channel. The system of equations of the mathematical model was integrated by McCormack's explicit finite-difference method. To obtain a monotonic grid function, a nonlinear scheme for correcting the numerical solution was used. The mathematical model was supplemented by the Poisson equation describing the electric field formed by charged dispersed particles. Poisson's equation was integrated by finite-difference methods on a gas-dynamic grid. Such a choice of the computational grid was necessary to calculate the concentration of particles required both for solving the electric field equation and for calculating the physical fields of the dynamics of inhomogeneous media. The reciprocal motion of a gas suspension caused by the movement of dispersed particles under the action of the Coulomb force was numerically investigated. The values of the surface and mass densities are determined, at which the models of the surface and mass densities of charges in the simulation of such a process are the same. It is revealed that the surface and mass models of charges are identical with respect to the volumetric content.

Keywords: computational experiments, numerical modeling, finite-difference methods, inhomogeneous media, electro hydrodynamics

For citation: Tukmakov D. Comparison of mathematical models of the dynamics of electrically charged gas suspensions for various concentrations of the dispersed component. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2022, vol.17, no.1, pp.39-54 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-1-39-54

Введение

Одной из областей приложения информатики является моделирование физических процессов, в том числе нестационарных процессов в сплошных средах, то есть развитие инструментария исследований меха-

ники сплошных сред, включающей в себя механику твердого деформируемого тела и механику жидкости газа и плазмы. Развивающимся разделом механики жидкости, газа и плазмы является динамика неоднородных сред. Для моделирования течений неоднородных сред применяются различные подходы [1–18]: мо-