

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АБДУЛ КАДЕР

ЗАДАЧА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ
МАССЫ, ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ

Специальность 01.02.05 - механика жидкости, газа и
плазмы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков 1994

ДИССЕРТАЦІЯ ЯВЛЯЄТЬСЯ РУКОПИСЬЮ

РАБОТА ВЫПОЛНЕНА В ХАРЬКОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ

Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук,
проф. Тарапов
Иван Евгеньевич

Официальные оппоненты: докт. физ.-мат. наук,
проф. Боев
Анатолий Григорьевич

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00777064 (V)

канд. физ.-мат. наук,
доц. Демущий
Виктор Петрович

Ведущая организация:

Институт проблем машиностроения АН Украины

Защита диссертации состоится "28" 10 1994 г.
в 15¹⁵ час. на заседании специализированного совета
К 053.06.02 в Харьковском госуниверситете
/310077, г. Харьков, пл. Свободы, 4, ауд. 6.48 /.
С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке ХГУ

Автореферат разослан "28" 09 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

А.С. Сохин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последнее время в связи с техническими приложениями усилился интерес к усложненным моделям механики сплошных сред. Одной из таких моделей является сплошная среда с непрерывным распределением источников массы, импульса и энергии. Иногда о такой среде говорят как о сплошной среде переменной массы.

Этой модели посвящены целый ряд работ у нас и зарубежом. Несмотря на то, что в настоящее время прямые применения находятся в основном в области астрофизики и течения электропроводящей среды, представляет интерес рассмотрение различных случаев потоков нейтральных сред. Эта модель может быть апробирована на ряде примеров течений многокомпонентных сред, если необходимо следить за движением одной из компонент.

Вопрос исчезновения или зарождения новой компоненты в среде под действием внешних факторов (электромагнитного поля, теплового излучения и др.) и отслеживание о движении также могут быть изучены при использовании рассматриваемой модели. Кроме того, оказывается, что методы исследования движения среды в рамках указанной модели могут быть использованы и для решения ряда задач, например, газодинамики, теории горения и др.

Целью работы является теоретическое исследование модели с непрерывно распределенными источниками массы, импульса и энергии на ряде практически интересных задач, требующих в одних случаях учета вязкости, а в других сжимаемости.

Научная новизна состоит в применении термодинамически обоснованной системы уравнений движения рассматриваемой среды. Для потоков невязкой среды получены интегралы уравнений дви-

жения. Получены новые решения для обобщенной задачи Пуазейля, а также решены задачи распространения звуковых волн и волн горения в среде с источниками массы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Первая глава содержит три параграфа, вторая - три, третья - два. Работа изложена на 115 страницах, список использованной литературы содержит 45 наименований.

Апробация работы. Работа неоднократно докладывалась на теоретическом семинаре по механике сплошных сред в Харьковском университете.

Публикации: по теме диссертации одна статья опубликована, две статьи находятся в печати.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность рассмотренных задач, дается краткий обзор имеющихся публикаций, а также приводится краткое содержание диссертации по главам и параграфам.

В первой главе приведен вывод основной замкнутой системы уравнений для среды с непрерывно распределенными источниками массы $\rho(\vec{r}, t)$, импульса $\vec{P}_u(\vec{r}, t)$ и энергии $\gamma(\vec{r}, t)$. Из тождества Гиббса, служащего для замыкания основной системы уравнений, в случае однокомпонентной среды, представляющей собой открытую термодинамическую систему, обменивающуюся с внешней средой массой, следует равенство химического (массового) потенциала удельному термодинамическому потенциалу по Гиббсу. Анализ системы уравнений

приводит к ограничениям, накладываемым на интенсивность источника импульса \vec{P}_u и источника энергии γ , а именно:

$$\vec{P}_u = \vec{P}_u(qv) \quad , \quad \text{причем} \quad \vec{P}_u(0) = 0 \quad ;$$

$\gamma \geq q(\varphi - \frac{V^2}{2})$, где φ - удельный термодинамический потенциал, V - скорость потока, причем в случае обратимости процесса образования источников берется знак равенства. При этом вектор \vec{P}_u должен обладать инвариантностью относительно преобразования Галлилея; он исчезает, если принимается схема "зарождения" (исчезновения) массы, а не "подсоединения", как в механике тел переменной массы И.В.Мещерского, когда он играет роль реактивной силы.

В § 3 этой главы получены интегралы уравнений движения невязкой сплошной среды. Показано, что в случае

$$\text{rot}(\rho u - qV) \vec{\rho}^L = 0 \quad \text{можно получить интегралы}$$

Лагранжа и Бернулли обычного вида, а в случае $\vec{P}_u = 0$ и

$$q \vec{\rho}^L = f(t) \quad \text{получаем интеграл Лагранжа для зара-$$

тропной жидкости вида

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \varphi)^2 + P(\rho) + q \vec{\rho}^L \varphi = \text{const} \quad (P(\rho) = \int \frac{dP(\rho)}{d\rho})$$

В этом же параграфе показана справедливость теорем А.А.Фридмана о сохраняемости векторных линий и интенсивностей векторных трубок при любой непрерывной функции

Во второй главе рассмотрено решение задачи о движении вязкой несжимаемой жидкости постоянной плотности с источниками массы между двумя параллельными пластинами, отстоящими на расстоянии h одна из которых движется с постоянной скоростью V_0 .

Если интенсивность источников не меняется вдоль пласти-

нок, то существует решение задачи, когда а) градиент давления вдоль потока постоянен; б) линейно зависит от продольной координаты X . В первом случае, однако, следует потребовать или существование источников и стоков, так, чтобы

$$\int_0^h q(y) dy = 0$$

или проницаемость для жидкости пластин. Во втором случае значение интеграла $\int_0^h q(y) dy$

определяет дополнительный продольный поток вдоль пластин, что приводит к линейному градиенту давления и, следовательно, к дополнительному перепаду давления на "торцах" пластин. В этом случае задача сводится к интегрированию обыкновенного нелинейного дифференциального уравнения

$$V''' = Q'' - 2P_2 + Re \{ VV'' - V'^2 + V'(3-\alpha)Q - VQ' - (2-\alpha)Q^2 \}$$

где

$$Q(y) \equiv q(y) / (q_0)^{1/2}, \quad Re = \frac{2\omega h^2}{\nu}, \quad \vec{P}_2 = \alpha q \vec{V}$$

при граничных условиях

$$V(0) = V(L) = 0, \quad V'(0) = Q(0), \quad V'(L) = Q(L)$$

Эти условия позволяют определить и постоянную P_2 , которая входит в функцию давления

$$P(x, y) = Re^{-1} (P_0(y) + P_1 x + P_2 x^2)$$

В диссертации приведено решение уравнения для случая

$$Re \ll 1$$

Для первого случая

$$\left(\int_0^h q(y) dy = 0 \right)$$

задача решена в конечном виде и ее решение приведено в диссертации.

Если интенсивность источников массы однородна, то задача имеет не только стационарное решение при перфорированной неподвижной пластинке, но и нестационарное решение, когда интенсивность $Q = Q(t)$, причем тогда либо расстояние между пластинами должно меняться по закону

$$h(t) = h(0) \exp\left(\int_0^t Q(t) dt\right), \text{ либо}$$

продольная скорость одной из пластин $U(t)$ должна удовлетворять условию

$$h(t) = V_0 U^{-1} \sqrt{1 + \frac{2\lambda}{Re V_0^2} \int_0^t U(t) dt}, \text{ или}$$

$$U(t) = \frac{U(0) h(0)}{h(t)} \exp\left(C_0 \int_0^t \frac{1}{h^2(t)} dt\right)$$

Если же $U(t) = V_0$, то это приводит к интенсивности источников $Q(t) = C_0 (1 + 2C_0 t)^{-1}$

где C_0 произвольная постоянная, позволяющая моделировать движение при источниках или стоках, интенсивность которых растет или убывает с течением времени. Для рассмотренного случая течения найдено распределение температуры.

Для наиболее общего случая зависимости источников массы $Q(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} Q_n(y) e^{inx}$ задача

сведена к бесконечной системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Получено нулевое приближение решения этой системы в случае $Re \ll 1$.

В последнем параграфе этой главы рассмотрена нестационарная задача Пуазейлевского течения в наиболее общей постановке и построено ее решение методом малого параметра.

В третьей главе рассмотрены звуковые волны и волна

горения в среде с однородно распределенными нестационарными источниками массы.

В первом параграфе рассмотрено распространение звука по среде, где постоянные источники массы меняют ее плотность по линейному закону. Получено решение в виде разложения по малому параметру.

В этом параграфе получено также решение задачи для распространения звуковых волн от переменных источников массы.

Во втором параграфе решена задача о генерации звука горящим слоем пылевых частиц во внешнем электрическом поле. Показано, что при определенных предположениях относительно газа, пылевых частиц и внешнего электрического поля формируются две звуковые волны, движущиеся со скоростью звука α_0 и скоростью ионной волны \sqrt{E} . Первая формируется за счет самого процесса горения, вторая - за счет взаимодействия ионного облака с нейтральным газом.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

I. Обосновано модель сплошной среды с непрерывно распределенными источниками массы, импульса, момента импульса, и энергии в предположении, что тензор напряжений, закон теплопроводности и другие реологические уравнения имеют такой же вид, как и в классической механике сплошной среды. Доказано, что тождество Гиббса с использованием гипотезы локального равновесия имеет "классический" вид, ибо в рамках рассматриваемой модели химический (массовый) потенциал равен термодинамическому потенциалу Гиббса. Получены интегралы уравнения движения невязкой среды.

2. Выведены основные уравнения механики сплошной среды для построенной модели в интегральной и дифференциальной формах. Обосновано положение о достаточно широком диапазоне практического применения этой системы уравнений, особенно при ее расширении на среды, взаимодействующие с электромагнитным полем.

3. Сформулирована обобщенная задача Пуазейля и для различных зависимостей интенсивности источников массы от пространственных переменных и времени найдены точные и приближенные решения.

Показано, что существует стационарное решение обобщенной задачи Пуазейля при линейном продольном градиенте давления. Сформулирована и сведена к бесконечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений задача для произвольного распределения источников массы между параллельными пластинами; получено приближенное решение этой задачи.

Получено несколько моделей нестационарной задачи Пуазейля и приведены их решения.

4. Решена задача о распространении малых возмущений в среде с источниками массы постоянной интенсивности и найдено точное решение, когда источником этих возмущений являются источники (стоки) массы. В первом случае, когда звук распространяется по среде с источниками амплитуда убывает, а при $q < 0$ амплитуда звуковых волн имеет тенденцию к росту.

5. Решена задача о генерации звука горящим слоем пылевых частиц во внешнем электрическом поле и получено, что в этом случае формируются две звуковые волны: первая волна формируется за счет самого процесса горения, вторая - за счет

взаимодействия ионного облака с нейтральным газом.

Таким образом, в диссертации обоснована с точки зрения законов термодинамики замкнутая система уравнений, описывающих движение среды с непрерывно распределенными источниками массы, импульса и энергии. Показаны возможные применения этой модели сплошной среды с переменной массой и решен ряд основных задач, требующих учета либо вязкости, либо сжимаемости.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Тарапов И.Е., Кадер А. Пуазейлевское течение с непрерывно распределенными источниками массы.- изв. АН СССР. МЖТ', 1994. В печати.
2. Тарапов И.Е., Кадер А. Уравнения движения среды с непрерывно распределенными источниками массы // Сборник научных работ аспирантов ХГУ. Харьков: изд-во "Основа" при ХГУ, 1993. В печати.
3. Жакин А.И., Кадер А. О диагностике горения дисперсных частиц в электрическом поле. - Электронная обработка материалов, 1994, № 2, С.49-52.

Abstract

Abdul Khader. The problem of motion of liquid, gas with distributed sources of mass, impuls and energy.

Thesis represented for the degree of PhD (Sc), speciality 01.02.05 - mechanics of liquids, gas and plasma, Kharkiv State University, Kharkiv, 1994.

The results of the author's papers, containing the theoretical investigations of model of continuous medium with continuously distributed sources of mass, impulse and energy are defended. The closed system of general equations describing such medium is specified; some theoretical and applied problems in the frame of the model under the study are discussed.

АННОТАЦИЯ

АБДУЛ КАДЕР

Задача движения жидкости и газа с распределенными источниками массы, импульса и энергий

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы, Харьковский госуниверситет, Харьков, 1994.

Защищаются научные работы, которые содержат теоретические исследования модели сплошной среды с непрерывным распределением источников массы, импульса и энергии. Обоснована замкнутая система основных уравнений этой модели среды, решены некоторые теоретические и практические задачи в рамках исследуемой модели.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: модель, джерело, замкнута система.

АБДУЛ КАДЕР

ЗАДАЧА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ МАССЫ, ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ

Специальность 01.02.05 - механика жидкости,
газа и плазмы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
Физико-математических наук

Подписано к печати и в свет 26.09.1994г.

Формат 60x84/16. Об"ем I печ. л. Бумага типографская.

Печать офсетная. Заказ №159. Тираж 100экз. Бесплатно.

Ротапринт ХГЭУ. г. Харьков пр. Ленина 9а.

AB 31.004

AB 31.004