

МОДЕЛЬ НЕИДЕАЛЬНОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

В. Ф. Куропатенко

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. акад. Е.И. Забабахина, г. Снежинск

Рассмотрен общий подход к построению модели неидеальной сплошной среды. В случае, когда девиатор тензора напряжений равен нулю, среда называется идеальной. Законы сохранения массы, импульса и энергии идеальной сплошной среды в форме Эйлера-Гельмгольца содержат только шаровую часть тензора напряжений — давление. Оно связано с шаровой частью тензора деформаций — удельным объёмом. Эта связь называется уравнением состояния. Как термодинамическая величина давление зависит кроме удельного объёма ещё от одной из термодинамических величин (температура, энтропия, удельная внутренняя энергия и др.) Теория уравнений состояния в последние десятилетия хорошо проработана. Современные уравнения состояния описывают свойства вещества в различных агрегатных состояниях и фазовые переходы (полиморфные, плавление, испарение). Следствием законов сохранения идеальной среды является постоянство энтропии вдоль траектории частицы. В неидеальной среде девиаторы напряжений, скоростей напряжений, скоростей деформации описывают как обратимые деформации (упругость) так и необратимые (вязкость, пластичность). В случае необратимых деформаций энтропия частицы возрастает. Общий подход к построению модели неидеальной среды следует из самой модели сплошной среды. С помощью простых постулатов устанавливается связь девиатора напряжений, девиатора скоростей напряжений и девиатора скоростей деформаций — уравнения вязкости и упругости. В законе сохранения энергии, независимо от других видов энергии, вводится удельная внутренняя энергия упругой дисторсии. Её поведение определяется специальным уравнением так, что при нагрузке она растёт до некоторого значения, которое остаётся постоянным в последующем пластическом течении. При смене знака нагрузки упругая энергия дисторсии убывает. Таким образом совершенно естественно описываются петля гистерезиса и эффект Баушингера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (код проекта 13-01-00072).

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ УДАРНОЙ ВОЛНЕ В ГАЗОВОМ ШАРЕ В ЛАГРАНЖЕВЫХ КООРДИНАТАХ

В. Ф. Куропатенко¹, Е. С. Шестаковская²

¹*Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина, Снежинск*

²*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск*

В лагранжевых координатах построено точное решение задачи о сходящейся ударной волне и о динамическом сжатии газа, находящегося в сферическом сосуде с непроницаемой стенкой. В начальный момент времени скорость газа равна нулю, а на границе задана отрицательная скорость. Т.о. в условиях задачи задан произвольный разрыв, после которого в газ начинает распространяться ударная волна. Граница шара будет двигаться по определенному закону, согласованному с движением ударной волны. В лагранжевых координатах траектория границы является прямой линией. Получены уравнения, определяющие структуру течения газа между фронтом ударной волны и границей, как функции времени и лагранжевой

координаты. Амплитуда ударной волны изменяется в зависимости от её положения. Соответственно, образуется зависимость энтропии от лагранжевой координаты. После прохождения через фронт ударной волны энтропия каждой частицы сохраняется неизменной вплоть до момента фокусировки волны.

Задача о динамическом сжатии газового шара конечных размеров принципиально отличается от ранее полученных решений задачи о сжатии автомодельной ударной волны к центру симметрии и её отражении от центра. Во всех таких постановках отсутствует граница газа, и решение отыскивается в эйлеровых координатах. В лагранжевых координатах задача решена впервые.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (ГРАНТ №13-01-00072).

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРБОЛИЧНОСТИ ОДНОМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДЕ

Н. А. Лебедева¹, В. Д. Жибаетов^{1,2}, К. Ф. Синьков^{1,3}

¹*Московский научно-исследовательский центр Шлюмберже, Москва*

²*Московский государственный университет, Москва*

³*Московский физико-технический институт, Москва*

В нефтегазовой индустрии для описания движения двухфазных газожидкостных течений в длинных трубопроводах наибольшее распространение получили два подхода [1]: модель дрейфа и многожидкостная модель. Модель дрейфа включает два уравнения баланса массы для газовой и жидкой фазы, а также одно уравнение баланса импульса для смеси. Многожидкостная модель основана на многоконтинуальном подходе и описывается уравнениями баланса массы и импульса для каждой из фаз. Для замыкания таких моделей используются ряд дополнительных упрощающих предположений, которые приводят к тому, что система определяющих уравнений теряет гиперболичность и математическая постановка начально-краевой задачи становится некорректной. Таким образом, актуальным является поиск критериев гиперболичности существующих моделей, а также построение новых моделей двухфазного течения, основанных на гиперболических системах уравнений.

В настоящей работе приведен характеристический анализ систем уравнений модели дрейфа в двух формулировках, отличающихся формой уравнения закона сохранения импульса смеси, и сделаны выводы о знакоопределенности собственных значений, позволяющие определить количество входящих и исходящих характеристик на границах вычислительной области и определить корректную постановку краевой задачи [2]. В рамках двуконтинуального подхода рассматриваются две модификации классической модели, позволяющие расширить ее область гиперболичности: учет градиента уровня жидкой фазы [3] и учет межфазных сил давления [4]. На основе аналитических и численных исследований в пространстве параметров, характерных для нефтегазовых течений, устанавливаются границы областей, где модели сохраняют гиперболичность.

Авторы выражают благодарность руководству компании Шлюмберже за возможность опубликовать данную работу.

Список литературы

1. Bratland O. Pipe Flow 2: Multi-phase Flow Assurance. 2009.