Математическое моделирование скоростной неравномерности потока газа за пористой преградой

К.И. Михайленко[1], В.С. Кулешов[2]

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН[1],
Уфимский государственный авиационный технический университет[2]

Процессами протекания сквозь слой гранулированной среды в еще 70–80-е гг. активно занимался М.А. Гольдштик. В ходе обширных экспериментальных исследований им было обнаружено парадоксальное явление: в ряде опытов измерение скорости потока газа непосредственно за насыпным зернистым слоем показало, что скорость в пристеночной области может оказаться значительно выше по сравнению со скоростью в центре канала, в то время, как слой пористой среды должен оказывать выравнивающее воздействие на профиль скорости.

Гольдштик М.А. выдвинул две гипотезы о причинах образования пристеночных струй в канале. Первая из них связана с тем, что в пристеночной области пористость гранулированной среды неравномерна, возрастая до единицы непосредственно на стенке канала, вторая — с деформацией поверхности слоя гранулированной среды потоком набегающей жидкости.

Итоговое объяснение наблюдаемого эффекта было следующим. Поверхность слоя становится криволинейной, например, параболической формы. Выходя из зернистого слоя под углом к поверхности, поток флюида испытывает преломление, аналогичное преломлению светового луча, проходящего под углом границу раздела фаз. Результатом данного преломления является вихреобразование на поверхности слоя, которое и отклоняет поток к стенкам. На основе этого предположения Гольдштик М.А. построил математическую модель и подобрал эмпирические коэффициенты для нее.

Математическая модель, описывающая движение двухфазной смеси газа и дисперсной среды, когда последняя образует неподвижный слой, может быть записана исходя из следующих предположений:

- гранулированная среда состоит из гладких сферических частиц одинакового размера, для которых выполняются предположения о малости частиц по сравнению с характерными линейными масштабами течений;
- гранулированная среда неподвижна и образует плотный слой заданной геометрии;
- воздействие дисперсной фазы на газовую описывается осредненной по пространству силой Стокса.

Использование в расчетах трехмерной математической модели неизбежно приводит к значительному увеличению требований к используемым аппаратным ресурсам, в связи с чем расчеты проводились на суперкомпьютере УГАТУ.

Следует особо отметить, что, несмотря на достаточно сильные упрощающие предположения при разработке математической модели, связанные с континуальным описанием дисперсной фазы и описанием силы межфазного взаимодействия на основе силы Стокса для отдельной сферической частицы, оказалось возможным получить достаточно хорошее соответствие с результатами экспериментов.

Дальнейшая работа должна предусматривать такое развитие модели, которое позволит более точно учитывать форму частиц гранулированной среды, а также их плотную упаковку. Кроме того, при наблюдающихся числах Рейнольдса модель должна учитывать турбулентный характер движения газовой среды. Наиболее простой способ это учесть связан с прямым моделированием турбулентности на мелкомасштабных сетках с большим количеством расчетных точек. Следует также учитывать, что такой подход может потребовать задания гранулированной среды как твердых препятствий в расчетной области, а не посредством континуальной модели.