

Крылов О.В.,

*Старший преподаватель кафедры общетехнических дисциплин
Филиала военного учебно-научного центра военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А.*

Гагарина» в г. Сызрани

Кокорина Ольга Константиновна

*Преподаватель кафедры общетехнических дисциплин
Филиала военного учебно-научного центра военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А.*

Гагарина» в г. Сызрани

ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ПОТОКЕ ДВУХФАЗНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся математической модели процесса взаимодействия нестационарного потока твердых частиц с преградой.*

***Ключевые слова:** механика фазных сред, математическая модель, удар, сферические сегменты, твердые частицы, нестационарный поток, преграда.*

***Annotation:** This article deals with the issues related to the mathematical model of the process of interaction of unsteady flow of solid particles with an obstacle.*

***Key words:** mechanics of phase media, mathematical model, impact, spherical segments, solid particles, unsteady flow, barrier.*

Сегодня механика двухфазных сред хорошо развитая область неравновесной газодинамики, достижения которой изложены в научных трудах, в основном в приложении к проблемам энергетики, машиностроения, течениям в соплах. Главный интерес для практики представляет установление вида зависимостей между размерами твердых частиц в нестационарном потоке, их

скоростью, концентрацией, углом атаки и их влиянием на физико-механические свойства.

При обтекании твердых тел двухфазным нестационарным потоком важную роль играет механика столкновения микрочастицы с плоскостью. В частности, структура сжатого слоя существенно зависит от скорости отскока молекул. Этот процесс относится скорее к механике твёрдого тела, чем к газодинамике, однако при численном исследовании движения тела в двухфазной среде приходится принимать ту или иную модель столкновения молекул с телом.

В основу математической модели процесса взаимодействия нестационарного потока твердых частиц, положена модель единичного акта контактного взаимодействия, позволяющая определить величину разрушения соударяющихся твердых тел. Особенностью макета шероховатой поверхности преграды, с которой соударяется нестационарный поток, является произвольный характер расположения выступов в виде сегментов на элементарном участке.

Параметры сегментов подчиняются нормальному закону распределения. В качестве параметров нормального закона распределения вероятностей для радиусов сферических сегментов макеты шероховатой плоскости принимают средние значения оценок математических ожиданий и соответствующих дисперсий для нескольких характерных зон поверхности. Все шаровидные сегменты макета шероховатой плоскости в пределах элементарной площадки имеют постоянный радиус основания и различные радиусы сфер. В выбранной системе координат центры оснований сегментов располагаются с одинаковым шагом.

Показатели физических и механических свойств поверхности преграды и материала (твердость, прочность на сдвиг и через, плотность, коэффициент Пуассона, модуль упругости) в пределах элементарного участка не изменяются. Значения показателей этих свойств для разных элементарных участков являются реализациями случайных величин с нормальным законом распределения вероятностей. Параметры соответствующих нормальных законов определяются в результате исследования плоскости тела. Хотя реальные твердые частицы,

находящиеся в многофазных потоках, имеют неправильную и весьма сложную форму, их представляют в виде правильных тел, чаще всего сфер. Моделирование ударного взаимодействия твердых молекул с преградой осуществляется в два этапа.

На первом этапе определяется положение точки контакта шара заданного диаметра с одним из сферических сегментов, моделирующих шероховатость элементарного участка поверхности.

На втором этапе анализируется напряженное состояние для макетов твердых частиц и поверхности соударения. Поиск положения точки контакта сфер включает определение точки пересечения траектории молекулы с плоскостью твердого тела и построения вблизи этой в направлении подлета частиц, задаваемом углом атаки траектории, зоны «наиболее вероятного контакта». Точка пересечения траектории частицы с координатной плоскостью определяется как сочетание координат X и Y , значения которых выбираются из условия равномерного распределения плотности попадания молекул на элементарную площадку. Зона «наиболее вероятного контакта» выделяется на поверхности элементарной площадки вдоль проекции траектории на плоскости $Z = 0$ от точки пересечения до точки соответствующей координатой. Ширина зоны устанавливается равной сумме диаметров основания сферического сегмента и модуля абразивной частицы. Координаты центра сферы модели частицы в момент ее контакта со сферой сегмента модели шероховатой плоскости определяются по соответствующим формулам.

Модель контактного взаимодействия учитывает и менее вероятные, но возможные случаи контакта в частности контакт шара малого диаметра с плоскостью нулевого порядка, а также контакт сферы модели молекулы одновременно с несколькими сферами сегментами, моделирующими шероховатую поверхность. После отыскания координат точки контакта осуществляются преобразования, связанные с определением вектора скорости частицы. Величина деформации устанавливается как часть величины наибольшего сближения, обусловленная твердостью плоскости соударения и

твёрдостью частицы. После контактного взаимодействия сферический элемент упруго восстанавливается, сохраняя шаровидную форму. Радиус восстановленной сферы определяется по известной величине объема сферического элемента после разрушения. В процесс моделирования периодически анализируются параметры распределения молекул в потоке по фракциям и при необходимости корректируются величины вероятностей появления новой фракции. После завершения воспроизведения соударения определяются величины объема материала в единицах объема или массы, изменения линейных размеров разрушаемой поверхности.

Соударение сверхзвуковой двухфазной струи с преградой является практически важной и физически интересной ситуацией. Примерами приложений здесь могут служить старт ракеты со стартового стола, расцепка блоков космического корабля, его выход в запылённую атмосферу, пескоструйная и дробеструйная обработка поверхностей, механика твёрдого тела. При оптикации тела потоком не однородной дисперсности происходит разделение траекторий частиц разных размеров: «лёгкие» частицы уносятся вместе с газом, «тяжелые» скапливаются у точки торможения на теле. В результате первоначальный массовый спектр частиц искажается, происходит обогащение тяжёлыми частицами в области близи оси нестационарного потока и лёгкими — на периферии. Это является особенно важно в экспериментах со струями проводимых в аэродинамических трубах с их неизбежно ограниченными размерами, что вызывает необходимость исследовать всю предысторию динамики частиц перед обтекаемым телом. Эта трехмерная эволюция массового спектра молекул сказывается и на интенсивности рассеиваемого ими зондирующего излучения.

Поэтому чтобы облегчить интерпретацию результатов опыта ученые предпочитают выбирать частицы с наименьшим разбросом размеров. Математические модели процесса взаимодействия потока твёрдых частиц применяются при исследовании акустики газодисперсной смеси в аэродинамике оптики и электрофизики нестационарного потока, проблем ракетного старта и

входа в запыленную атмосферу, проблем обледенения самолетов и вертолетов, пожаротушения с воздуха, экологии аэродромов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Стернин Л.Е. Основы газодинамики двухфазных течений в соплах. — М.: Машиностроение, 1974.

2. Салтанов Г.А. Неравновесные и нестационарные процессы в газодинамике однофазных и неоднородных сред. — М.: Наука, 1979.