

УСТОЙЧИВОСТЬ СЛОЯ ЖИДКОСТИ С ТЯЖЕЛОЙ ТВЕРДОЙ

О. Н. Дементьев

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Рассматривается вязкая несжимаемая жидкость, содержащая примесь тяжелых твердых частиц. Жидкость и примесь предполагаются взаимопроницаемыми и взаимодействующими друг с другом сплошными средами, взаимодействием между частицами пренебрегается. Взаимодействие между фазами при их относительном движении подчиняется закону Стокса. Объемная доля частиц настолько мала, что поправкой Эйнштейна к вязкости жидкости можно пренебречь. Частицы предполагаются сферическими, недеформируемыми, одинаковой массы и радиуса; плотность материала частиц намного больше плотности жидкости.

Жидкость заполняет горизонтальный бесконечный слой, ограниченный твердыми параллельными плоскостями. Частицы с однородной концентрацией попадают в слой через верхнюю границу, а нижняя граница нагревается. Частицы оседают, поэтому в невозмущенном состоянии происходит поперечное движение примеси в слое с равномерной вертикальной скоростью. Частицы попадают в слой при температуре его верхней границы.

В предельном случае взвешенных частиц распределение температуры оказывается линейным по вертикали. С увеличением скорости осаждения частиц, а также с ростом их массовой концентрации и относительной теплоемкости увеличивается искажение линейного распределения температуры жидкости. При дальнейшем увеличении указанных параметров на нижней границе формируется пограничный слой, внутри которого сосредоточено основное изменение температуры несущей среды.

Будем рассматривать устойчивость слоя по отношению к нормальным возмущениям, периодическим по горизонтали. Полученная краевая задача определяет спектр декрементов возмущения и пределы устойчивости равновесия слоя жидкости (газа), содержащего примесные частицы. Декремент затухания возмущений зависит от независимых параметров задачи: чисел Грасгофа, Прандтля и Галилея (или скорости осаждения частиц), массовой концентрации примесей, волнового числа и времен релаксации. Для решения краевой задачи применялся метод пошагового интегрирования Рунге–Кутты–Мерсона с ортогонализацией по Граму–Шмидту результирующих векторов решения на каждом шаге интегрирования; ортонормирование проводилось к максимальному по модулю (на данном шаге) вектору решения.

С увеличением массовой концентрации примеси на нижней границе слоя начинает формироваться температурный пограничный слой (происходит «выдувание» распределения температуры газа). С ростом скорости частиц также наблюдается усиление искажающего влияния примеси на распределение температуры несущей среды. Стабилизирующее влияние действия частиц на устойчивость равновесия при этом возрастает. В слое воздуха толщиной 2 см движение древесных частиц со скоростью 10 см/с увеличивает устойчивость почти в 4 раза. Однако при больших значениях скорости осаждения ее дальнейшее увеличение приводит к небольшому искажению установившегося распределения температуры несущей среды и, следовательно, к небольшому увеличению стабилизирующего эффекта.
