



ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ

Авторы: Г. А. Тирский

ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ, область течения вязкой жидкости или газа малой (по сравнению с продольными размерами) поперечной толщины, образующаяся непосредственно у поверхности обтекаемого твёрдого тела.

При достаточно больших *Рейнольдса числах* ($Re \geq 10^3$) действие вязкости проявляется лишь в тонком слое, непосредственно примыкающем к обтекаемой стенке (поверхности обтекаемого тела). Вне этого П. с. вязкость проявляется слабо и ею можно пренебречь. Компонента скорости течения, направленная вдоль стенки, при удалении от стенки по нормали в П. с. резко изменяется от 0 до скорости практически невязкого течения. Толщина δ П. с. пропорциональна характерному линейному размеру l тела: при ламинарном режиме обтекания $\delta \propto l Re^{-0,5}$, при турбулентном режиме $\delta \propto l Re^{-0,2}$.

Течение вне П. с. описывается в рамках модели идеальной (невязкой) жидкости с помощью уравнений Эйлера. Поскольку П. с. тонок (давление по нормали к стенке в П. с. практически не меняется), то эта модель применима для описания всего потока при учёте соответствующих граничных условий (нормальная составляющая скорости на стенке равна нулю). Полученные в таком приближении значения скорости потока и давления у стенки рассматриваются как внешние граничные условия при решении уравнений П. с. Эту процедуру называют асимптотич. сращиванием П. с. с внешним течением. С математич. точки зрения уравнения П. с. представляют собой уравнения параболич. типа, являющиеся первым приближением *Навье – Стокса уравнений*.

При достаточно большом росте давления вдоль обтекаемой поверхности кинетич. энергия жидких частиц, заторможенных в П. с., становится недостаточной для преодоления давления, возрастающего по потоку. Это приводит к появлению в

непосредственной близости от стенки возвратного течения, отрыву потока от поверхности обтекаемого тела (см. [Отрывное течение](#)) и возникновению более или менее интенсивных вихрей в «подветренной» части обтекаемого тела. Отрыв П. с. может наступить только в том случае, если скорость внешнего (невязкого) течения при обтекании тела уменьшается.

При увеличении числа Рейнольдса (до 10^4 и выше) ламинарный режим обтекания в П. с. постепенно переходит в турбулентный. При этом существенно увеличивается сопротивление потоку, теплопередача от потока к телу и массоперенос (в случае течения смеси газов). Из экспериментов по исследованию течений в трубах было получено примерное критич. значение числа Рейнольдса, при котором происходит такой переход: $Re_{кр} \approx 2300$. Однако величина $Re_{кр}$ существенно зависит от условий входа потока в трубу. Путём тщательного уменьшения возмущений при входе в трубу в ходе экспериментов удалось получить значение $Re_{кр} \approx 40000$; в то же время было установлено, что существует нижняя граница для $Re_{кр}$, приблизительно равная 2000. При $Re < 2000$ затухают даже самые сильные возмущения потока и течение остаётся ламинарным.

Расчёт турбулентного П. с. основан на задании полуэмпирич. коэффициентов турбулентной вязкости и теплопроводности для конкретных видов течений. Теория перехода ламинарного течения в турбулентное в П. с. основана на теории потери устойчивости ламинарного режима течения. В 1904 Л. [Прандтль](#) в своей работе «О движении жидкости при очень малом трении» получил уравнения П. с., которые на долгие годы определили осн. математич. модель, описывающую течение вязкой жидкости. Идея вывода уравнений П. с. легла в основу раздела математики, посвящённого дифференциальным уравнениям с малым параметром перед старшей производной. До недавнего времени именно исследованию П. с. было посвящено наибольшее число работ по гидромеханике. В задачах по расчёту температурных и диффузионных П. с. рассматривалось влияние сжимаемости газа, химич. реакций, ионизации, возбуждения внутр. степеней свободы, попадания в П. с. паров теплозащитных материалов с обтекаемой поверхности и др. Вёлся поиск как автомодельных (точных) решений уравнений П. с. при спец. задании скорости

внешнего течения, так и приближённых решений, основанных на использовании уравнений П. с., записанных в интегральном виде (метод Кармана – Польгаузена). Начиная с последней четв. 20 в. в решении задач, посвящённых П. с., активно используются численные методы и суперкомпьютеры.

Исследование П. с. – самостоят. область гидроаэродинамики, имеющая практич. применение в самолёто- и кораблестроении, энергомашиностроении, двигателестроении, ракетной технике.

Рассматривают также П. с. на границе раздела двух потоков вязкой жидкости с разл. скоростями, темп-рами или химич. составом.

Литература

Лит.: Лойцянский Л. Г. Ламинарный пограничный слой. М., 1962; Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М., 1974; Шевелев Ю. Д. Трёхмерные задачи теории ламинарного пограничного слоя. М., 1977; Кутателадзе С. С., Леонтьев А. И. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое. 2-е изд. М., 1985.