Беляков Стас 10Б

Первая глава диплома.

Вязкость – это свойство газов и жидкостей оказывать сопротивление необратимому перемещению одной их части относительно другой при сдвиге, растяжении и др. видах деформации. Вязкость характеризуют интенсивностью работы, затрачиваемой на осуществление течения газа или жидкости с определенной скоростью. Обозначается вязкость греческой буквой мю. В системе СИ значения вязкости выражают в Паскалях \* на секунду. Для газов вязкость составляет обычно от 1 до 100 мкПа\*с, для воды при 20 °С 1 мПа\*с.

При движении вязкой среды возникает сопротивление, в некотором смысле аналогичное сопротивлению при перемещении тела вдоль поверхности.

Поэтому явление вязкости можно определить, как проявление сопротивления среды при перемещении одного ее внутреннего слоя относительно другого. По аналогии c явлениями трения на внешних поверхностях движущихся тел, вязкость называют также внутренним трением. Вязкость можно определить и как свойство, благодаря которому выравниваются скорости движения соседних слоев газа или жидкости.

Основными количественными характеристиками вязкости являются динамический коэффициент вязкости (сокращенно – динамическая вязкость) и кинематический коэффициент вязкости (сокращенно – кинематическая вязкость), связанные соотношением = /, (1) где - плотность среды. Кроме того, иногда используют величину обратную динамическому коэффициенту вязкости: т = 1/, называемую коэффициентом текучести (сокращенно – текучестью).

В физической системе единиц (СГС) динамический коэффициент вязкости выражают в пуазах (П), по имени французского исследователя Пуазейля, равных 1П = 1г/(смс). Обычно пользуются в сто раз меньшей единицей – сантипуазом, которой соответствует динамическая вязкость воды при 20,2°С и нормальном давлении.

В Международной системе (СИ) единицей динамической вязкости является Паскаль-секунда 1 Пас = 1 Нс/м2 = 1кг/(мс) = 10 П, равная 103 сантипуаз.

Коэффициент кинематической вязкости выражается в см2/с, м2/с;

Величину, равную 1 см2/с, называют стоксом, по фамилии известного ученого Стокса, а в сто раз меньшую сантистоксом.

Динамический и кинематический коэффициенты вязкости, как жидкостей, так и газов в значительной мере зависят от температуры. При этом, как правило, вязкость жидкостей убывает с возрастанием температуры, в то время как вязкость газов обычно увеличивается.

Качественно, основные представления молекулярной теории вязкости можно описать следующим образом. Когда на газ или жидкость начинает действовать сила сдвига, которая приводит к появлению некоторого направленного движения, то в данной части объема к вектору скорости неупорядоченного теплового движения молекул добавляется вектор скорости направленного движения. В результате столкновений происходит взаимный обмен импульсами молекул, и скорость направленного движения распространяется на соседние участки объема. Вблизи источника приложения силы вектор направленной скорости молекул имеет максимальное значение, а по мере удаления от источника величина направленной скорости убывает.

Подобная передача направленного импульса молекул от слоя к слою жидкости (газа) и является главной причиной возникновения вязкости. Согласно второму закону Ньютона, рассчитав величину импульса, передаваемого в единицу времени, можно найти силу внутреннего (вязкого) трения, действующую между слоями.

dv F = - S (2), dz где dv/dz – градиент скорости течения (иначе – скорость сдвига), а – коэффициент динамической вязкости.

Рисунок 1. Сдвиговое течение вещества или течение Куэтта.

На рисунке 1 приведена схема однородного сдвига или вязкого течения слоя жидкости (газа) высотой h, заключенного между двумя пластинками, на которых нижняя (А) неподвижна, а верхняя (В) под действием тангенциальной силы F движется с постоянной скоростью; V(z) – зависимость скорости слоя от расстояния Z до неподвижной пластинки.

Численно, коэффициент динамической вязкости равен величине импульса, который переносится в единицу времени через площадку при градиенте скорости равном единице (в направлении, перпендикулярном к площадке).

В качестве простейшего примера, рассмотрим характеристики вязкости идеального газа. Если слой газа течет с некоторой скоростью направленного движения v, то это значит, что все молекулы слоя обладают этой скоростью сверх скорости хаотического теплового движения, которое в текущем газе происходит совершенно так же, как и в покоящемся. Каждая молекула имеет импульс направленного движения mv (m — масса молекулы). Обычно скорость течения газа значительно меньше средней скорости теплового движения его молекул.

Рассмотрим площадку S, параллельную скорости течения газа и, следовательно, перпендикулярную к направлению переноса импульса. Примем, что скорость течения газа убывает в направлении оси Z, т.е. скорость течения справа от площадки меньше, чем слева от нее. Благодаря обмену молекулами между обоими слоями газа (обмен происходит из-за тепловых движений) это различие в скорости течения уменьшается. Молекулы справа от S замещаются другими молекулами, пришедшими слева, имеющими большую скорость v и, следовательно, больший импульс направленного движения.

При столкновении этих молекул с молекулами, находившимися до этого справа от S, большая скорость течения распределится между всеми молекулами справа, после чего скорость течения этого слоя, а следовательно, и направленный импульс, станут больше, в то время как скорость и направленный импульс слоя газа слева от S уменьшатся. Другими словами, обмен молекулами, обусловленный тепловыми движениями, приводит к выравниванию скоростей течения различных слоев газа. Таков механизм переноса направленного импульса в направлении оси Z от одного слоя текущего газа к другому.

Результирующий направленный импульс L, переносимый в единицу времени через площадку S, определяется разностью направленных импульсов L1 и L2, переносимых молекулами, пересекающими площадку S слева направо и справа налево. Величины L1 и L2 равны произведениям направленного импульса отдельной молекулы на число молекул, пересекающих площадку в единицу времени. Последнее равно одной шестой произведения S на число молекул в единице объема n и на среднюю скорость теплового движения молекулы v. Направленный импульс отдельной молекулы, который она приносит, пересекая площадку S, — это тот импульс, которым молекула обладала при последнем столкновении перед площадкой, т.е. на расстоянии порядка средней длины свободного пробега от площадки.

Если скорость течения на расстоянии слева от S равна v1, то импульс молекулы, связанный с течением газа, равен mv1 (m — масса молекулы). Таким образом, L1 = nvmv1S.

Соответственно для молекул, пересекающих площадку S справа налево, L2 = nvmv2 S, где v2 — скорость течения газа на расстоянии справа от S.

Тогда, результирующий направленный импульс L, переносимый через единицу площади в единицу времени равен L = L1 – L2 = nvm(v1 - v2)S, где (v1 - v2) — разность скоростей течения газа в точках, отстоящих друг от друга на расстоянии 2, т. е.

dv (v1 - v2) = 2, dz и :

1 dv L = mnv S.

3 dz Вспомнив, что по второму закону Ньютона, импульс, передаваемый в единицу времени, равен силе внутреннего (вязкого) трения, действующей на слой газа, и сравнивая последнюю формулу с (2), получаем выражение для коэффициента вязкости:

1 = mnv = v, (3) 3 здесь = mn — плотность вещества.

Полученное выражение (3) дает оценку коэффициента вязкости с точностью до численного множителя, который только приблизительно равен 1/3. Из этого выражения, полученн впервые Максвеллом, также видно, что ого коэффициент вязкости идеального газа не должен зависеть от давления, так как произведение. не зависит от давления.

Качественно, рассуждения, ко торые использованы для вычисления коэффициента вязкости идеального газа, с определенными оговорками можно применять и при вычислениях вязкости жидкостей и даже твердых тел.

Так как явление вязкости определяется характером движения и взаимодействия молекул данного вещества друг с другом, то количественное изучение этого явления - измерение коэффициентов вязкости, имеет значение не только для производства и техники, но и позволяет получить существенные сведения о молекулярном движении и взаимодействии в изучаемом веществе.

Однако необходимо учитывать, что существуют границы применимости различных методов измерения вязкости, которые во многом определяются изменением характера течения.

При течении среды силы вязкости пропорциональны изменению скорости потока в направлении, перпендикулярном скорости. Естественно, их действие в особенности резко будет сказываться там, где эти изменения скорости велики.

Различают два типа течений: ламинарное и турбулентное. При турбулентном вихревом течении слои движущейся среды интенсивно перемешиваются, возникают противотоки (некоторые слои движутся в противоположном по отношению к основному потоку направлению), которые замедляют течение среды. При ламинарном течении слои среды не перемешиваются между собой, а как бы “скользят” один относительно другого. В этом случае при течении вязкой среды частицы или молекулы, непосредственно прилегающие к поверхности, как бы “прилипают” к ней, и их скорость относительно поверхности равна нулю. Поэтому в непосредственной близости от поверхности скорость потока быстро нарастает от нулевого значения до некоторой конеяной величины.

При таком течении жидкостей, когда число Рейнольдса (Re) превышает некоторое критическое значение, происходит переход от ламинарного режима течения к турбулентному и формула Ньютона (2) для сил вязкого трения становится неприменимой. В этих случаях используют различные эмпирические соотношения.

Так, например, для плоскопараллельного осредненного турбулентного движения жидкости используют формулу Буссинеска:

dv = A, dz где = F/S - касательные напряжения внутреннего трения в потоке жидкости;

A - коэффициент турбулентного перемешивания (турбулентной вязкости), который в отличие от коэффициента молекулярной вязкости уже не является физической постоянной жидкости, а зависит от характера осредненного движения (z - расстояние от стенки).

На основании полуэмпирической теории Прантдаля турбулентная вязкость определяется зависимостью:

dv A = L, dz где L - путь перемешивания жидкости (турбулентный аналог длины свободного пробега молекул).

Следует помнить, что большинство течений газов и жидкостей турбулентно как в природе (воды в реках, морях, водопадах и т.д.), так и в технических устройствах (трубах, каналах, струях, в пограничных слоях местных сопротивлений, резких изгибах профилей труб и т.п.) Это необходимо учитывать при проектировании и перестройке технических объектов: гидротехнических сооружений, турбинных установок, газонефтепроводных магистралей, насосов и т.д.