

Граничные условия/Свойства

Operation Conditions

Pressure-inlet boundary conditions

Wall

Outlet

Интерфейсы

Граничные условия пользователя

Свойства рабочего тела

Operation Conditions

Operation Pressure

- ▶ При низких значениях числа Маха ($M < 0.1$) перепад давления мал по сравнению со статическим давлением.
- ▶ $\Delta p/p \sim 1Pa/101325Pa$;
- ▶ \Rightarrow ошибка округления может воздействовать на решение.
- ▶ Можно ли работать только с перепадом давления, вычтя базовое давление-атмосферу?
- ▶ Определим рабочее давление p_0 и вычтем его из p .

Operation Pressure

$$p_g = p_0 - p \quad (1)$$

$$101325 < p < 101308 \quad (2)$$

$$0 < p_g < p - p_0 < 3 \quad (3)$$

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (4)$$

- ▶ в подходе pressure-based formulation, плотность рассчитывается из давления и температуры.

Operation Pressure

- ▶ При $M < 0.1$ Δp мал по сравнению с p .

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{p_0 + p_g}{RT} \approx \frac{p_0}{RT} \quad (5)$$

- ▶ Плотность зависит только от температуры!
- ▶ Иногда это называется **законом несжимаемого идеального газа**.
- ▶ В сжимаемых потоках абсолютное давление очень важно.
- ▶ Operation pressure = 0.

$$p = p_g \quad (6)$$

Operation Pressure

- ▶ gauge pressure = абсолютное давление
- ▶ ⇒ плотность зависит и от давления и от температуры.

$$\rho = \frac{p_0 + p_g}{RT} \quad (7)$$

Reference Temperature

- ▶ При $M < 0.1$ сила плавучести ρg больше по сравнению с другими членами. Это может сделать систему уравнений нестабильной и сложной для решения.
- ▶ Для улучшения стабильности вводится относительная плотность ρ_0 .
- ▶ Вычитаем $\rho_0 g \Rightarrow \dots + \underbrace{(\rho - \rho_0)g}_{\text{плавучесть}}$
- ▶ Fluent рассчитывает ρ_0 автоматически.
- ▶ ρ_0 обычно берётся для free stream.

Reference Temperature

-вводится только в приближении Буссинеска

$$(\rho - \rho_0) g \approx -\rho_0 \beta (T - T_0) g \quad (8)$$

- ▶ β - коэффициент термического расширения.
- ▶ $\Rightarrow \rho_0$ становится ненужной.

$$\dots + (1 - \beta (T - T_0)) g \quad (9)$$

Pressure-inlet boundary conditions

Velocity inlet

- ▶ Velocity inlet boundary condition чаще всего применяется из-за того, что известна скорость объекта.
- ▶ Для внутренних течений чаще известен массовый расход, из которого вычисляется перепад давления Δp .
- ▶ Можно использовать **Mass-flow-inlet** или разделить расход на площадь входа и плотность газа на входе и получить скорость и использовать **Velocity inlet**.
- ▶ Если скорость неизвестна:
 - ▶ задаётся статическое давление \rightarrow перепад давления известен \rightarrow можно рассчитать поле скорости.
 - ▶ или задать давление в точке торможения: $p_0 = p + \frac{\rho U^2}{2}$.

- ▶ Stagnation Pressure-inlet различно для:
 1. Несжимаемых течений ($M < 0.3$).
 2. Дозвуковых течений ($M > 0.3$).
 3. Сверхзвуковых течений ($M > 1$).
- ▶ Несжимаемые потоки:
 - ▶ p_0 - известно давление торможения на границе.
 - ▶ Используя статическое давление, рассчитанное на предыдущей итерации определяем скорость: $u = \sqrt{\frac{2(p_0 - 0)}{\rho}}$.
 - ▶ Подставляем скорость на вход.
 - ▶ Определяем статическое давление.
 - ▶ Повторяем итерации со второго шага.

Дозвуковые течения ($M > 0.3$)

$$\frac{p_0}{p} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (10)$$

$$M = \frac{U}{\sqrt{\gamma RT}} \quad (11)$$

- ▶ γ - показатель адиабаты.
- ▶ Остальная процедура расчёта такая же.

Сверхзвуковые течения ($M > 1$)

- ▶ p_0 - на входе.
- ▶ p - на выходе.
- ▶ При дозвуке выходе может "передать" статическое давление на вход.
- ▶ При сверхзвуке на входе нужно задавать и p_0 и p , т.к. сигнал с выхода не дойдёт до входа.
- ▶ \Rightarrow Поскольку p_0 и p известны на входе, скорость определяется один раз на входе. Итерации не нужны.



Wall

- ▶ На стенках чаще всего выполняется условие прилипания:

$$u_w = v_w = w_w = 0 \quad (12)$$

- ▶ Тепловые граничные условия:
 - ▶ $T = const.$
 - ▶ $q = const.$
 - ▶ Конвекция: α и T_0 .
 - ▶ Лучистый теплообмен с окружающей средой.
 - ▶ Смешанные условия.



Outlet

Outlet

- ▶ На выходах может задаваться:
 - ▶ Давление: **Pressure-outlet**.
 - ▶ Расход: **Mass-flow-outlet**.
 - ▶ **Outflow** - задаётся доля расхода, истекающего через границу. Работает только с несжимаемыми средами.
 - ▶ **Pressure-far-field** - задаёт давление вдали от обтекаемого тела. Внешнее обтекание.
- ▶ Может задаваться температура окружающего пространства. Необходима в случае возникновения обратных токов.

Интерфейсы

Интерфейсы

- ▶ Служат для:
 1. задания условия сопряжения между двумя фазами. Задаёт равенство температур и градиентов на границе соприкосновения фаз.
 2. задания периодических граничных условий.
- ▶ Существует два способа создания интерфейсов:
 1. Автоматический - создание **Part**. Создаёт только **Coupled Wall**.
 2. Вручную - необходимо проименовать границы соприкосновения для каждой фазы. Затем из двух границ создать интерфейс.

Интерфейсы: Fuse

- ▶ В некоторых случаях имеет смысл объединить границы-интерфейсы в одну. Для этого нужно воспользоваться командой *Fuse* из меню *Mesh*. В таком случае не будет интерфейсов, но будет решаться сопряжённая задача.
 1. После объединения типа **solid-solid** нужно выполнить операцию: */mesh/modify-zones/slit-interior-between-diff-solids*. Данная команда устраняет несостыковку из-за различного материала тел.
 2. При объединении типа **fluid-solid** может появиться граница с типом *interior*. Нужно преобразовать данную границу в *wall*. Появятся *wall* и *wall-shadow*.

Граничные условия пользователя

Граничные условия пользователя

- ▶ Если стандартные граничные условия не подходят для решаемой задачи, то во Fluent есть возможность создать собственные граничные условия:
 1. **User Defined Functions.**
 2. **Expressions.**

Свойства рабочего тела

Свойства рабочего тела

- ▶ Fluent может работать с:
 1. Газами: чистые газы или газовые смеси.
 2. Жидкостями: в чистом виде либо плёнки и капли в двухфазных потоках.
 3. Твёрдые тела: стенки либо частицы в дисперсных потоках.
- ▶ Во Fluent имеется база данных свойств большого количества веществ.
- ▶ Для веществ, отсутствующих в базе данных, есть возможность задать свойства пользователя: **Expressions**, полиномы, свойства на основе молекулярно-кинетической теории и др.