

К ВОПРОСУ О ПОСТАНОВКЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОЛЕБАНИЙ ВО ВПУСКНОМ ТРАКТЕ ДВС МЕТОДОМ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ

Е.П. Воронаев, инж., А.Н. Аверьянов, инж.,

ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье, Украина

Физико-математические модели рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания широко используются в расчетно-исследовательской практике. В то же время требования к глубине и адекватности физико-математических моделей постоянно возрастают. Это обусловлено следующими причинами. Во-первых, возрастает необходимость применения ресурсосберегающих технологий. Применение комплексных систем управления предприятием вместе со сквозными технологиями проектирования позволяют значительно сократить сроки и издержки производства двигателей. В этой ситуации, чтобы сократить также затраты на создание и доводку двигателей, требуется перенести на ЭВМ большую часть работ. Во-вторых, возрастает сложность и ужесточаются требования к удельным показателям самих двигателей.

Одним из процессов, который заслуживает особого внимания, является процесс газообмена. При возросшей быстроходности современных двигателей до 7000...9000 об/мин, характер процессов во впускных и выпускных патрубках двигателей на частичных и номинальных частотах вращения коленчатого вала изменяются очень сильно. Особенную сложность для расчета представляет процесс обратного выброса при впуске, не допускающий каких-либо упрощений.

В то же время повышение быстродействия современных ЭВМ и развитие численных методов газовой динамики позволяют решать указанные задачи. Одним из таких методов является модифицированный метод крупных частиц (МКЧ) [1].

В качестве исходных уравнений используются дифференциальные уравнения Эйлера в дивергентном виде (уравнения неразрывности, импульса и энергии) для одномерной постановки:

$$\partial \rho / \partial t + \operatorname{div}(\rho W) = 0, \quad (1)$$

$$\partial \rho u / \partial t + \operatorname{div}(\rho u W) + \partial P / \partial x = 0, \quad (2)$$

$$\partial \rho E / \partial t + \operatorname{div}(\rho E W) + \operatorname{div}(\rho W) = 0. \quad (3)$$

Для замыкания системы дифференциальных уравнений (1) - (3) используется уравнение состояния в виде:

$$P = (k-1)/k * \rho * (E - W^2/2).$$

Основная идея метода состоит в расщеплении по физическим процессам исходной нестационарной системы уравнений Эйлера, записанной в форме законов сохранения. Среда здесь моделируется системой из жидких (крупных) частиц, совпадающих в данный момент времени с ячейкой эйлеровой сетки. Расчет каждого временного шага разбивается на три этапа: Элеров, Лагранжев и заключительный.

Для улучшения устойчивости счета на первом этапе использовалось искусственное вязкостное давление

$$q = -\mu * \partial u / \partial x,$$

где μ - коэффициент вязкости.

Как показали дальнейшие расчеты, для устойчивости счета этого оказалось недостаточно, и была дополнительно применена формула для сглаживания расчетных параметров на каждом временном шаге:

$$\Omega_i = (1 - 2\alpha) \Omega_i + \alpha \Omega_{i+1} + \alpha \Omega_{i-1},$$

где α - коэффициент сглаживания.

В качестве примера для отработки метода расчета колебаний на впуске («модель трубы») использовался двигатель Д-250 производства ОАО «Мотор Сич». Краткая характеристика двигателя: одноцилиндровый, бензиновый четырехтактный, нижнеклапанный, воздушного охлаждения, рабочий объем – 252 см³, мощность – 4 кВт, частота вращения коленчатого вала – 3600 мин⁻¹. Для комплексности расчета и получения

интегральных характеристик по двигателю, «модель трубы» была интегрирована в физико-математическую модель рабочего цикла двигателя. Расчетная область впускного канала разбивалась на 40 ячеек с шагом 5 мм. Расчетный режим - 3600 мин⁻¹.

Основные трудности, возникающие при применении подобных методов расчета - это постановка граничных условий. В случае же стыковки «модели трубы» с «моделью цилиндра» вопрос усложняется не только изменяющимся по времени давлением, но и изменяющимся проходным сечением клапана. Для разрешения этой проблемы была введена дополнительная (буферная) ячейка между впускным каналом и цилиндром. Далее применена следующая расчетная схема:

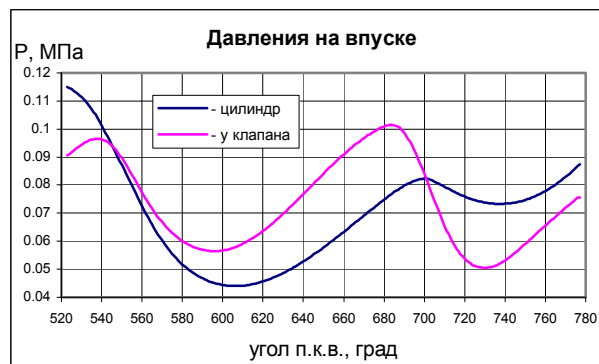
1. В начальный момент времени давление в буферной ячейке равно давлению в канале.
2. Исходя из перепада давлений между буферной ячейкой и цилиндром, по формулам стационарного течения, вычисляется скорость потока.
3. Исходя из проходного сечения, вычисляется расход газа.
4. Полученный расход газа прикладывается к буферной ячейке и по законам термодинамики вычисляются давление, плотность и температура.
5. Полученные параметры буферной ячейки используются дальше как граничные для «модели трубы».

Такой способ, несомненно, несет в себе много допущений, однако он позволяет учесть основные взаимосвязи между впускным каналом и цилиндром двигателя.

При стыковке «модели трубы» с «моделью цилиндра» возникает еще одно затруднение - это несоответствие минимально достаточного расчетного шага по времени. Для «модели цилиндра» достаточен шаг интегрирования в 1 град п.к.в., для «модели трубы» - не более 0.1 ... 0.2 град п.к.в. Однако на малых частотах вращения и этот шаг оказывается большим. Чтобы не дробить излишне основной расчетный шаг, и обеспечить устойчивость счета, для «модели трубы» приме-

нено разбиение с прогнозированием основного расхода газа.

Один из вариантов расчета двигателя представлен на рисунке. Этот расчет был выполнен с заведомо широкими фазами газораспределения и как следствие - отчетливо просматривается обратный выброс и значительное падение давления в цилиндре.



Выводы

1. Разработана физико-математическая модель колебаний («модель трубы») во впускном тракте ДВС, в основу которой положен модифицированный метод крупных частиц.
2. Предложен способ постановки граничных условий для «модели трубы», заключающийся во введении промежуточной (буферной) ячейки.
3. Требуется более тщательная проверка предложенного способа, проверка его границ применимости.
4. Требуется обоснование оптимальности предложенного сочетания расчетных временных шагов.

Литература

1. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике.- М.: Наука, 1982.- 392 с.

Поступила в редакцию 01. 06.03.

Рецензенты: зам. Гл. инж., директор КТУ Л.А. Пирогов, «Мотор Сич», г. Запорожье; д-р техн. наук, профессор В.Г. Дьяченко, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков.