

УДК 62-224.2

ГРАНИЧНЫЕ И НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗООБМЕНА В ДВС**М.В. Абросимова, Л.А. Жолобов***Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
603107, Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация. В ходе решения задачи моделирования газообмена перед исследователями стоит цель – определить термодинамические параметры и поля рабочего тела, находящегося в области расчета. Под областью расчета понимается объем, в котором определены уравнения математической модели и граница объема, которая определяет граничные условия.

Задачи моделирования газообмена относятся к видам задач о внутренних течениях. Внутреннее течение – это течения с твердыми границами. В этом случае физический объем совпадает с границами моделируемого устройства.

В процессе газообмена выпуск отработавших газов из цилиндров и поступление в них свежего заряда происходит под действием возвратно-поступательного движения поршня при периодическом открытии клапанов. В результате течения через клапанные щели и в выпускной, и во впускной системах имеют четко выраженный неустановившийся характер. При этом конструктивная схема и параметры систем выпуска и впуска и обусловленные ими особенности газоздушных потоков, в свою очередь, значительно влияют на протекание газообмена и наполнение, и, как следствие, на рабочий цикл в целом, и выходные показатели двигателя. Все эти взаимосвязанные процессы сложны, и поэтому до сих пор не имеют исчерпывающего математического описания.

Область моделирования являлась трехмерным объектом, так как характер течения газов в области расчетов имеет ярко выраженную трехмерную структуру. В соответствии с этим поиск решения данной задачи при моделировании процессов газообмена ведется на основании наиболее полно описывающей такой вид течения физической модели полностью сжимаемой жидкости.

Ключевые слов: вход, выход, вектор, газообмен, давление, логарифмический закон, математическая модель, поток, сопротивление, стенка, тип границы.

Введение. Определение граничных условий для задачи, связанной с газообменом, заключается в выделении определенных параметров состояния рабочего тела в физических границах рабочей области. Граничные условия задаются для каждой из расчетных переменных. Чтобы облегчить выбор и исключить постановку несовместимых граничных условий, они объединены в тип границы. Каждый тип границы соответствует некоторому физическому процессу, происходящему на ней.

Существуют следующие основные типы границ:

- Стенка;
- Вход/Выход;
- Свободный выход;
- Симметрия.

Таблица 1 – Соответствие типа граничного условия моделируемой границе

Имя типа границы	Моделируемая граница
Стенка	Твердая стенка, нет протекания
Вход/выход	Стенка со вдувом или отсосом
Свободный выход	Выходная граница потока
Симметрия	Условие симметрии

Каждый тип границы включает в себя наборы граничных условий для каждой независимой переменной данной математической модели.

Материалы и методы. Исследования производились с помощью метода экспериментально-технического уровня (моделирования), метода теоретического уровня. Теоретическая значимость работы заключается в использовании методики построения расчетной модели и полученных при этом результатах, связанных с моделированием процесса газообмена ДВС.

Экспериментальный материал по численному моделированию процессов газообмена получен с помощью конечно-объемного метода.

Результаты исследований и их обсуждение. Для выбранной математической модели (полностью сжимаемой жидкости) необходимо поставить граничные условия для физических границ расчетной области.

В соответствии с вышеизложенным для выбранной математической модели используем типы границ: Стенка; Вход/выход и Свободный выход.

Для каждого типа границы на стенках расчетной области необходимо задавать значения следующих параметров состояния рабочего тела на физических границах: температура (T), скорость (V), кинетическую энергию турбулентных пульсаций (k) и скорость диссипации энергии турбулентности (e).

Для поверхностей стенок впускных и выпускных каналов и стенок цилиндра устанавливаем тип границы – Стенка.

На границах расчетной области типа стенка для температуры определены следующие граничные условия.

Значение на стенке:

На границе задано фиксированное значение f_w .

Здесь и далее индекс ω означает границу расчетной области

$$f|_{\omega} = f_w \quad (1)$$

Нулевой поток:

Условие равенства нулю потока означают

$$\left. \frac{df}{dn} \right|_{\omega} = 0 \quad (2)$$

Поток:

На границе задано фиксированное значение диффузного потока J_w

$$D_f = \left. \frac{df}{df} \right|_{\omega} = J_w \quad (3)$$

Диффузионный поток :

На границе задано фиксированное значение f_w и коэффициент тепло-массоотдачи α (1,5).

$$D_f = \left. \frac{df}{df} \right|_{\omega} = \alpha(f_w - f) \quad (4)$$

Поток с сопротивлением:

это граничное условие используется в тех случаях, когда к стенке расчетной области примыкает прослойка, которая может быть заменена тепловым сопротивлением (рис.1).

На границе задано фиксированное значение f_e (значение на внешней границе прослойки, заменяемой тепловым сопротивлением) и значение коэффициента тепло – массоотдачи α_{eff} , который определяется таким образом

$$\alpha_{eff} = \frac{\lambda_{eff}}{h} \quad (5)$$

где

λ_{eff} – коэффициент диффузии или теплопроводности прослойки. Поток с внешней границы прослойки

J_e определяется таким образом:

$$J_e = \alpha_{eff}(f_e - f_w) \quad (6)$$

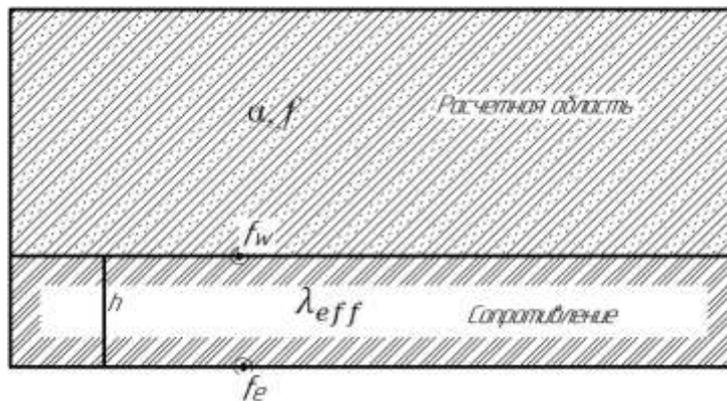


Рис. 1. Граничное условие для температуры f для потока с сопротивлением

А поток с внешней границы расчетной области J_w определяется из выражения (4). Так как потоки J_e и J_w равны, то получаем следующее выражение для потока J_w :

$$J_w = \frac{\alpha \times \alpha_{eff}}{\alpha + \alpha_{eff}} (f_e - f_w) \quad (7)$$

На границах расчетной области типа Стенка для скорости определены следующие граничные условия:

Стенка:

На границе области задано условие прилипания

$$\vec{V}|_w = 0 \quad (8)$$

Стенка с проскальзыванием:

На границе области задано условие проскальзывания.

Это значит, что компоненты вектора скорости $V_i (i = 1 \div 3)$ удовлетворяют одному из условий:

$$V_i|_w = 0, \text{ если } n_i = 0 \quad (9)$$

$$(\nabla V_i, n)|_w = 0, \text{ если } n_i \neq 0$$

где n_i - компоненты вектора нормали n к границе w (6).

Утечка:

это граничное условие предназначено для задания расхода через стенку с зазорами. Если не применяется пользовательская библиотека динамической компоновки DLL (Dynamic Link Libraries), то задается только массовый расход через единицу площади. Остальные параметры могут применяться только в пользовательской библиотеке.

Тангенциальная закрутка:

это граничное условие задает вектор скорости, имеющий нормальную V_n и касательную V_k составляющие к граничной поверхности:

$$V_k = \omega \times r \quad (10)$$

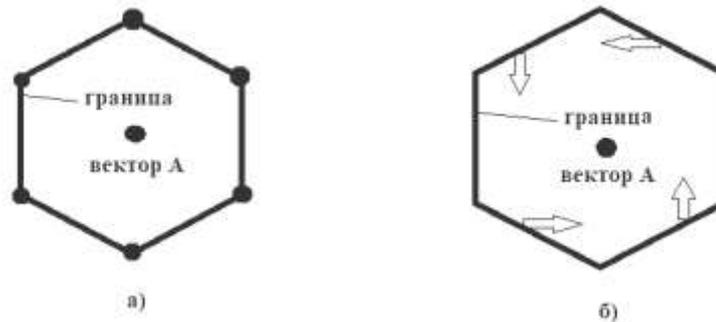


Рис.2. Вид закрученного потока: а) $V_n = 0$ б) $V_n \neq 0$

где r – характерный размер.

Направление вращения определяется правилом буравчика (рис.2) и знаком ω (степень закрутки) :

$\omega > 0$ – "прямое" вращение;

$\omega < 0$ – "обратное" вращение.

Направление касательной составляющей скорости определяется по правилу буравчика, примененного к вектору. Реальная расчетная граница представлена плоскими фасетками. Поэтому скорость, определенная по правилу буравчика, может иметь нормальную к фасетке составляющую. При этом в расчетах ошибку можно уменьшить, повысив качество фасеточного представления поверхности.

Вращающаяся стенка:

аналогично условию Стенка, с той лишь разницей, что это условие необходимо использовать в том случае, когда решается задача с вращением в абсолютной системе координат.

Стенка, логарифмический закон:

подробное описание определения скорости в ближайшей к стенке ячейке.

Тангенциальная закрутка, логарифмический закон:

аналогично граничному условию Тангенциальная закрутка с той разницей, что для расчета касательной к граничной поверхности составляющей скорости используются формулы для гидравлически гладкой или шероховатой стенки (18,19).

Вращающаяся стенка, логарифмический закон:

аналогично условию Стенка, логарифмический закон, с той лишь разницей, что это условие необходимо использовать в том случае, когда решается задача с вращением в абсолютной системе координат.

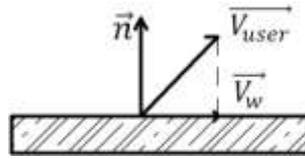
$$\vec{V}_w = \vec{V} - \vec{n}(n\vec{V}) \quad (11)$$

При использовании этого условия на поверхностях, которые имеют не нулевую кривизну вдоль направления движения, следует обратить внимание на то, что при задании постоянного вектора скорости, касательная скорость на самой поверхности будет зависеть от кривизны поверхности (рис. 3) [8, 9].

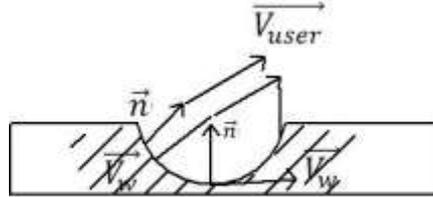
На границах расчетной области типа Стенка для кинетической энергии турбулентных пульсаций K и скорости диссипации турбулентной энергии ϵ определены следующие граничные условия (11).

Вариант 1 (равновесная турбулентность):

(для нашей задачи) значение в ячейке рядом со стенкой для K находим как:



а) нулевая кривизна поверхности;



б) не нулевая кривизна поверхности

Рис. 3. Касательная скорость на стенке.

$$k = \frac{\left(\frac{\min(y^+, 1) u_\tau}{\sqrt{\beta^+}} \right)}{\sqrt{\beta^+}} \quad (12)$$

Значение в ячейке рядом со стенкой для ϵ находим как:

$$\epsilon = \beta^+ k \omega \quad (13)$$

Для условия равновесной турбулентности значения ω_{lam} находим как:

$$\omega_{lam} = \frac{\omega_w}{\left(1 + y \sqrt{\frac{\omega_w}{80\nu}}\right)} 2 \quad (14)$$

$$\omega_w = \begin{cases} \frac{u_\tau^2}{\nu} \frac{2500}{h_s^{+2}} \\ \frac{u_\tau^2}{\nu h_s^{+2}} 100 \end{cases} \quad (15)$$

$$h_s^{+2} = \max(h_s^+, h_{smin}^+) \quad (16)$$

Таким образом, значение ϵ в пристенной ячейке вычисляется через ω . Данная зависимость имеет смысл в сочетании с граничными условиями, определяющими логарифмический закон распределения скорости движения газа в пограничном слое [3,4].

Вариант 2 (неравновесная турбулентность).

Нулевой поток для k :

$$\nabla_n k = 0 \quad (17)$$

Значение в ячейке рядом со стенкой для ϵ определяется по выражению 13. При этом

$$\omega_{turb} = \frac{u^*}{\sqrt{\beta^+ k y}} \quad (18)$$

$$\text{где } u^* = \beta^{*1/4} k^{1/2} \quad (19)$$

Данная зависимость также имеет смысл в сочетании с граничными условиями, определяющими логарифмический закон распределения скорости движения газа в пограничном слое.

Вариант 3

Значение на стенке для k :

$$K=0 \quad (20)$$

Условие на стенке задается выражением 15.

Данная комбинация имеет смысл при сеточном разрешении ламинарного подслоя в сочетании с условием прилипания для скорости к стенке расчетной области.

Кроме того для границы Стенка в принятой математической модели используется тип Вход/Выход, который в разработанной математической модели устанавливаем как граничное условие для поверхности горловины впускного канала.

На границах расчетной области типа Вход/Выход определены следующие граничные условия.

Значение на стенке: соответствует аналогичному условию в типе границы Стенка.

Нулевой поток: соответствует аналогичному условию в типе границы Стенка. Это граничное условие используется только для выходной границы расчетной области.

Для скорости определены следующие граничные условия.

Нормальная массовая скорость:

на границе области задана нормальная компонента вектора массовой скорости:

$$\rho V|_w = p_w V_w \quad (21)$$

Если $p_w V_w \geq 0$, то это граничное условие трактуется как “вход”.

Если $p_w V_w \leq 0$, то это граничное условие трактуется как “выход” (2).

При этом в процессе расчета отрицательная величина V_{nm} переустанавливается в соответствии со следующим правилом:

$$V_w^{out} = -\frac{\sum V_w^{in} S^{in}}{\sum S^{out}} \quad (22)$$

Оно обеспечивает выполнение условия баланса массы – “сколько массы втекло – столько массы вытекло”. Здесь S^{in} и S^{out} - площади “входных/выходных” граничных поверхностей соответственно.

Вектор массовой скорости:

На границе области задан вектор массовой скорости:

$$\rho V|_w = p V_w \quad (23)$$

Данное граничное условие предназначено для задания закрученного вокруг оси (А, Р) потока жидкости с углом раствора φ (рис.4)

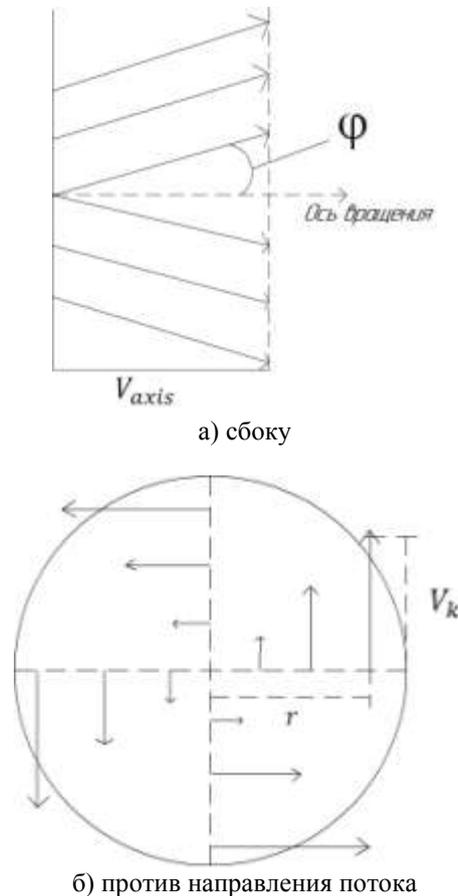


Рис. 4. Вид на закрученный поток (20)

Здесь А – направляющий вектор оси вращения, Р – любая из точек, лежащих на оси вращения.

Закрученный поток характеризуется осевой составляющей массовой скорости pV_{axis} и степенью закрутки ϕ .

$$V_k = \omega r \quad (24)$$

Давление:

на границе области задается значение давления.

Скорость на границе расчетной области устанавливается по следующему правилу:

в расчетной ячейке, примыкающей к границе, определяется направление вектора скорости.

Если вектор скорости направлен внутрь расчетной области, то устанавливается нормальная компонента вектора скорости (V_{nw}), равная модулю вектора скорости в ячейке.

Если вектор скорости направлен из расчетной области, то устанавливаются нормальные производные компоненты вектора скорости равные нулю.

$$P|_w = P_w \quad (25)$$

$$(V, n) > 0$$

$$V|_w = V_{nw} = |V|$$

$$(V, n) \leq 0$$

$$\nabla(V_i, n)|_w = 0 \quad (26)$$

Полное давление и полная температура:

Предполагается, что вход – дозвуковой, выход запрещен.

На входной границе области для скорости задается значение полного давления (P_0):

$$P_0 = P \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (27)$$

γ – показатель адиабаты смеси;

$$\gamma = \frac{c_p}{c_p - \frac{R_0}{M}} \quad (28)$$

M – число Маха;

$$M = \frac{|V|}{c} \quad (29)$$

При малых числах Маха:

$$P_0 = P + \rho \frac{|V|^2}{2} \quad (30)$$

Скорость нормальна входному сечению. Модуль скорости проходит по характеристике, движущейся вверх по потоку. Скорость в общем случае переменна по сечению. Следовательно, P и T так же переменны по входному сечению [10,11].

На входной границе области для температуры задается значение полной температуры (T_0):

$$h(T_0) = h(T) + \frac{|V|^2}{2} \quad (31)$$

В частном случае постоянной теплоемкости:

$$T_0 = T + \frac{|V|^2}{2c_p} \quad (32)$$

При использовании этого условия на выходе задается один скаляр: либо статистическое давление, либо расход (массовая скорость).

Нормальная скорость с давлением:

на границе области задана нормальная компонента вектора:

$$(V, n)|_w = V_w \quad (33)$$

и давление на бесконечности:

$$P|_w = P_w \quad (34)$$

Это граничное условие присутствует только в интерфейсе, на самой границе становится условие “Нормальная массовая скорость”, которое пересчитывается автоматически.

Вектор скорости с давлением:

на границе области задан вектор скорости:

$$V|_w = V_w \quad (35)$$

и давление на бесконечности по 34 формуле.

Это граничное условие присутствует только в интерфейсе, на самой границе ставится условие “Вектор массовой скорости”, которое пересчитывается автоматически.

На границах расчетной области типа Вход/Выход для кинетической турбулентных пульсаций k и скорости диссипации турбулентной энергии e определены следующие граничные условия:

Вариант 1.

Значение на стенке для k :

$$k = k_{int} \quad (36)$$

Значение на стенке для e :

$$e = e_{int} \quad (37)$$

Вариант 2 (для нашей задачи):

Пульсация для k :

$$k = \frac{(b|V_{inl}|)^2}{2} \quad (38)$$

В рамках разработанной математической модели задаем безразмерный параметр b в зависимости от начальной турбулизации потока на входе в расчетную область:

$b < 0.03$ – низкая турбулизация потока;
 $0.03 < b < 0.05$ – средняя турбулизация потока;
 $0.05 < b < 0.1$ – высокая турбулизация потока.

V_{inl} - скорость потока на входе.

Масштаб турбулентности, m для e :

$$\varepsilon = C_{\mu} \frac{k^{3/4}}{l} \quad (39)$$

В рамках разработанной математической модели задаем размерный начальный масштаб турбулентности L , который можно оценить следующим образом:

$$L = I * d \quad (40)$$

$I < 0.03$ – низкая турбулизация потока;
 $0.03 < I < 0.1$ – средняя турбулизация потока;
 $0.1 < I < 0.2$ – высокая турбулизация потока.

d – характерный линейный размер задачи. Для нашей задачи это диаметр горловины впускного канала [5].

Для поверхности горловины выпускного канала в принятой математической модели устанавливаем тип границы – Свободный Выход.

На границах расчетной области типа Свободный Выход определены следующие граничные условия.

Для температуры и концентрации определены два граничных условия, соответствующие нелогичным условиям для типа границы Вход/Выход.

Для скорости определены следующие граничные условия.

Нулевое давление/выход:

давление на границе области полагается равным нулю.

Скорость на границе расчетной области устанавливается по следующему правилу: в расчетной ячейке, примыкающей к границе, определяется направление вектора скорости.

Если вектор скорости направлен внутрь расчетной области, то нормальная составляющая скорости обнуляется.

Если вектор скорости направлен из расчетной области, то устанавливаются нормальные производные компоненты вектора скорости, равные нулю.

$$P|_w = 0 \quad (41)$$

$$(V, n) > 0$$

$$V|_w = V_{tw}$$

$$(V, n) \leq 0$$

$$\nabla(V_i, n)|_w = 0 \quad (42)$$

где V_{tw} – тангенциальная составляющая скорости на границе.

Давление/выход:

на границе области задается значение давления. Скорость на границе расчетной области устанавливается таким же образом, как в условии нулевое давление/выход.

Давление, нет втока:

на границе области задается значение давления.

Скорость на границе расчетной области устанавливается по следующему правилу: в расчетной ячейке, примыкающей к границе, определяется направление вектора скорости.

Если вектор скорости направлен внутрь расчетной области, то компоненты скорости обнуляются.

Если вектор скорости направлен из расчетной области, то устанавливаются нормальные производные компоненты вектора скорости, равные нулю.

Свободная граница:

на границе области нормальные производные компоненты вектора скорости и давления равны нулю.

$$\frac{dP}{dn}|_w = 0 \quad (43)$$

$$(\nabla V_i, n)|_w = 0 \quad i = 1 \div 3 \quad (44)$$

Это граничное условие устанавливается только на сверхзвуковых выходных сечениях ($M > 1$).

На границах расчетной области типа Свободный Выход для кинетической энергии турбулентных пульсаций k и скорости диссипации турбулентной энергии e определены следующие граничные условия.

Свободный выход: (для нашей задачи)

Нулевой поток для k : $\nabla_n k = 0$

Нулевой поток для e : $\nabla_n \varepsilon = 0$

Кроме вышеперечисленных граничных условий, которые заключаются в определении параметров состояния рабочего тела на физических границах расчетной области, необходимо учитывать граничные условия на подвижных деталях, включенные в выбранную математическую модель.

К подвижным деталям относятся поршень и впускной и выпускной клапаны. На границах этих подвижных тел определяем тип границ Стенка. Для каждого из подвижных тел необходимо задать закон изменения скорости движения. Кроме того, определяем закон изменения во времени эффективной проходной площади впускного и выпускного отверстий [3,9].

Выводы.

Таким образом, названные граничные условия учувствуют непосредственно, наряду с характеристиками КШМ и органов впуска и выпуска, в формировании зависимостей, описывающих изменение параметров состояния рабочего тела в цилиндре двигателя [10].

Традиционно постановка граничных условий на открытой границе проходной площади заключается в определении значений параметров состояния рабочего тела, при этом эффективная проходная впускного и выпускного отверстий рассматривается как свободно варьируемый параметр, входящий в состав задаваемых граничных условий и подбираемый таким образом, чтобы обеспечить наименьшую величину работы насосных ходов при наибольшем цикловом массовом наполнении цилиндра свежим зарядом [11].

Такой подход к заданию граничных условий позволяет моделировать влияние целенаправленной модернизации ГРМ на процессы газообмена в ДВС и решать задачу подбора эффективной проходной площади впускного и выпускного отверстий в ходе вычислительного, а не натурального эксперимента.

Задание начальных условий для численного моделирования процессов газообмена является непростой задачей, что связано с тем, что названные начальные условия сами зависят от того, как протекали процессы газообмена в предыдущем цикле.

Таким образом, достоверное определение начальных условий может быть осуществлено только в ходе некоторого итерационного процесса, устойчивость которого в данной ситуации не может быть очевидной. Задание начальных условий для задачи о газообмене заключается в определении параметров состояния рабочего тела в цилиндре двигателя, а также по длине органов впуска и выпуска в начальный момент времени.

В принятой математической модели в начальный момент времени задаются значения температуры и концентрации, равные и концентрации T_{ini} и C_{ini} соответственно, а также значения компонентов вектора скорости V_{ini} и давления P_{ini} (относительные величины).

В дополнение к этим условиям задаем начальные значения турбулентной энергии и диссипации. Их значения задаются параметрами b_{ini} и l_{ini} .

Рекомендуется использовать значения из граничного условия на входе. Если начальные значения b_{ini} и l_{ini} равны нулю, то они генерируются автоматически в зависимости от распределения скоростей, получаемого в конце первого шага по времени.

Параметры состояния рабочего тела в органах газообмена в момент времени, соответствующий началу процесса, определяется огромным множеством факторов, и их полный и точный учет подразумевает выполнение высокоточного моделирования всего рабочего цикла двигателя в целом.

Распределение параметров состояния рабочего тела по длине органов впуска и органов выпуска в момент времени, соответствующий началу процессов газообмена, определяется суммарным действием целого ряда факторов, главными из которых являются продолжающиеся и при закрытых запорных элементах органов впуска и выпуска газодинамические колебания параметров состояния рабочего тела, а также влияние процессов, происходящих в смежных органах впуска и выпуска, обслуживающих другие цилиндры многоцилиндрованного двигателя.

Таким образом, начальные условия для задачи об органах впуска и выпуска могут быть получены со сколько-нибудь существенной достоверностью лишь в результате решения названной задачи. Разрешение данного противоречия достигается итерационными методами: на этапе первого приближения используются заведомо неточные начальные условия (в данной работе распределение всех параметров состояния рабочего тела по длине органов впуска и выпуска на этом этапе принималось равномерным при его нулевой скорости), а на последующих этапах используются начальные условия, полученные в результате решения задачи об органах впуска и выпуска в предыдущем приближении.

На этапе первого приближения параметра состояния рабочего тела в цилиндре двигателя в момент начала процесса сжатия (в момент окончания процессов газообмена) принимались равными параметрам состояния окружающей среды ($p_0 = 10000 \text{ Па}; T = T_0 = 298 \text{ К}; p = p_0 = 1,17 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

Полученные таким образом начальные условия (p, ρ, V, T), хотя и не являются совершенно достоверными, однако позволяют выполнить следующее приближение и получить (после детального моделирования процессов газообмена) новые, более точные, начальные условия. Если названная точность оказывается удовлетворительной, то останавливаем данный итерационный процесс, продолжая его в обратном случае до достижения приемлемой точности задания начальных условий.

Литература

1. Агафонов, А.Н. Экспериментальные исследования работы ДВС с усовершенствованной системой воздухообмена / А.Н.Агафонов, И.В. Слесаренко, В.Н. Гудзь // Двигателестроение. – 2007. – № 2. – С. 11–15.
2. Голев, Б. Ю. Численный расчет движения воздушного заряда во впускном винтовом канале и цилиндре дизеля // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы XII Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2010. – С. 29-31.
3. Горнушкин, Ю.Г. Требования к воздухопроводящему тракту моторного испытательного стенда / Ю.Г. Горнушкин, Я.А. Михайлов // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы X Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2005. – С. 29-31.
4. Грицюк, А. В. Исследование газодинамических характеристик впускных каналов дизеля при его разработке / А.В. Грицюк, С.А. Алехин, В.А. Опалеев // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы X Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2005. – С. 82-88.
5. Гусаков, С.В. Опыт применения метода планируемого эксперимента в исследованиях ДВС / С. В. Гусаков, А. С. Макаревский // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы X Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2005. – С. 38-40.
6. Жолобов, Л. А. Оценка наполнения цилиндра ДВС свежим зарядом по результатам численного моделирования / Л. А. Жолобов, И. Н. Шелякин, М.В. Абросимова // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 10.– С.47-54.
7. Жолобов, Л.А. Оценка параметров газообмена в ДВС методом численного моделирования / Л. А. Жолобов, И. Н. Шелякин, М. В. Абросимова // Вестник НГИЭИ.– 2017.– № 2. – С.35-45
8. Калугин, С. П. Математическое моделирование процессов газообмена двигателя внутреннего сгорания / С. П. Калугин, В. Н. Балабин // Прикладная наука. – 2007. – № 1. – С. 20-27.
9. Лиханов, В. А. Моделирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией ОГ / В. А. Лиханов, О. П. Лопатин // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы X Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2005. – С.31-33.
10. Миронычев, М. А. Рациональная организация рабочих процессов поршневых двигателей с целью повышения их технико-экономических показателей / М. А. Миронычев, В. Н. Павельев, В. А. Низовцев // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы X Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2005. –С.65-67.
11. Эфрос, В. В. Численное моделирование впускных каналов / В. В. Эфрос, Б. Ю. Голев // Двигателестроение. – 2007. – № 4. – С.24-27.

Сведения об авторах

1. **Жолобов Лев Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры эксплуатации мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин, Нижегородская сельскохозяйственная академия, 603107, г.Нижний Новгород, пр.Гагарина, 97, e-mail: jolobovlev@yandex.ru, тел.+7-951-910-11-51;
2. **Абросимова Мария Владимировна**, аспирант кафедры эксплуатации мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин, Нижегородская сельскохозяйственная академия, 603107,г.Нижний Новгород, пр.Гагарина, 97, e-mail: abrosimova-mari@mail.ru, тел. +7-904-787-87-23.

BOUNDARY AND INITIAL CONDITIONS OF MATHEMATICAL MODEL OF GAS EXCHANGE IN ICE

M.V. Abrosimova, L.A. Zholobov

*Nizhny Novgorod State Agricultural Academy
603107, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

Abstract. *In the course of solving the problem of gas exchange, researchers are faced with the task of determining the thermodynamic parameters and fields of the working medium in the calculation area. The calculation area is understood as the volume in which the equations of the mathematical model and the volume boundary on which the boundary conditions are defined.*

The tasks of modeling gas exchange relate to the problems of internal flows. The inner current is the currents bounded by solid boundaries. In this case, the physical volume is limited and coincides with the boundaries of the simulated device.

In the process of gas exchange, the output of exhaust gases from the cylinders and the arrival of fresh charge in them occurs under the action of reciprocating motion of the pistons with periodic opening of the valves. As a result of flow through the valve slots and in the exhaust and inlet systems have a clearly expressed non-established nature. At the same time, the constructive scheme and parameters of the exhaust and inlet systems due to them peculiarities of gas-air flows in turn significantly affect the flow of gas exchange and filling and, as a consequence, the duty cycle as a whole and the output parameters of the engine. All these interrelated processes are complex and therefore do not yet have an exhaustive mathematical description.

The modeling domain was a three-dimensional object, since the nature of the gas flow in the calculation area has a pronounced three-dimensional structure. In accordance with this, the search for the solution of this problem in the modeling of gas exchange processes is carried out on the basis of the most completely describing this type of flow of the physical model of a completely compressible fluid.

Key words: input, output, vector, gas exchange, pressure, logarithmic law, mathematical model, flow, resistance, wall, type of boundary.

References

1. Agafonov A. N. Experimental investigations of the operation of the internal combustion engine with improved air supply system / A. N. Agafonov, I. V. Slesarenko, V. N. Gudzh, A. V. Harlanov, D. P. Pchel'nikov, A. V. Razuvaev / engine engineering, 2007, No. 2, Pp. 11-15.
2. Golev B. Y. Numerical calculation of the motion of the air charge in the inlet by the screw channel and the cylinder of a diesel engine / B. Y. Golev / Fundamental and applied problems of perfection of piston engines: Materials of XII International scientific-practical conference, Vladimir, 2010, Pp. 29-31.
3. Gornushkin Y. G. Requirements of air-flowing tract of motor test bench / Y. G. Gornushkin, Y. A. Mikhailov / Fundamental and applied problems of perfection of piston engines: Materials of X International scientific-practical conference. Vladimir, 2005, Pp. 29-31.
4. Gritsyuk A.V. Investigation of gas-dynamic characteristics of inlet ports of a diesel engine during its development/ A.V. Gritsyuk, S. A. Alyokhin, V. A. Paleev, V. G. Solodov, A. A. Antimirov //Materials of X International scientific-practical conference, Vladimir, 2005, Pp. 82-88
5. Gusakov S. V. Experience of application of the method of planned experiment in the studies of ICE/ S. V. Gusakov, A. S. Makarevsky / Materials of the X International scientific-practical conference, Vladimir, 2005, Pp. 38-40
6. Zholobov A. A. Estimation of the filling of the cylinder of the internal combustion engine, fresh charge on the results of numerical modeling/ A. A. Zholobov, I. N. Shelyakin, M. V. Abrosimova // "Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University", knyaginino, No. 10, 2016, Pp. 47-54.
7. Zholobov A. A. Estimation of parameters of gas exchange in internal combustion engines numerical simulation/ A. A. Zholobov, I. N. Shelyakin, M. V. Abrosimova // Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University, knyaginino, No. 2, 2017, Pp. 35-45
8. Kalugin S. P. Mathematical modeling of internal combustion engine gas exchange processes/ S. P. Kalugin, V. N. Balabin // Applied science, 2007, №1, Pp. 20-27
9. Likhanov V. A. Modeling of the working process of gas diesel in the work with recycling / V. A. Likhanov, O. P. Lopatin // Proceedings of the X International scientific-practical conference, Vladimir, 2005, Pp. 31-33.
10. Pavelyev M. A. Rational organization of work processes of reciprocating engines with the aim of improving their technical and economic performance/ M. A., Pavelyev, V. N., Nizovtsev V. A., Orlov S. A., Hrynkow S. N //Materials of X International scientific-practical conference, Vladimir, 2005, Pp. 65-67.
11. Efros V. V. Numerical simulation of the intake of the Kahn-lov/ V. V. Efros, B. Y. Golev //engine engineering, 2007, No. 4, Pp. 24-27.

Information about the authors

1. **Zholobov Lev Alekseyevich**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Operation of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 603107, Nizhny Novgorod, 97, Gagarina Pr., e-mail: jolobovlev@yandex.ru tel:+7-951-910-11-51;

2. **Abrosimova Maria Vladimirovna**, Postgraduate of the Chair Operation of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 603107, Nizhny Novgorod, 97, Gagarina Pr., e-mail: abrosimova-mari@mail.ru tel: +7-904-787-87-23.

УДК628.854

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ИНКУБАЦИИ И ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДНЯКА КУР

Т.Н. Акулова, Е.Л. Белов, Т.В. Шаронова

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. Целью исследований является разработка устройств для обеззараживания сыпучих кормов и яиц и санации воздуха при выращивании молодняка кур для снижения бактериальной загрязнённости, улучшения показателей микроклимата птицеводческих помещений. Устройство для обеззараживания яиц содержит 40 бактерицидных ламп ДБ-60 для дезинфекции приточного воздуха. Облучение воздуха лампами ДБ-30 и ДБ-15 в течение трех часов уменьшает бактериальную загрязненность на 88,7 %, содержание спор