

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Кафедра двигателей внутреннего сгорания

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ В ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ <<АЛЬБЕЯ>>

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для бакалавров направления
552700 “Энергомашиностроение”

Уфа 1996 г.

Составители: Губайдуллин И.С., Загайко С.А., Рудая Н.В., Рудой Б.П., Хисматуллин К.А.

Методические указания по моделированию рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания в интерактивной системе имитационного моделирования <<АЛБЕЯ>> / Уфимск. гос. авиац. тех. ун-т; Сост. Губайдуллин И.С., Загайко С.А., Рудая Н.В., Рудой Б.П., Хисматуллин К.А. Уфа, 1996. - 41 с.

В работе приведено описание прикладных модулей, используемых при расчете газоздушных трактов двигателей внутреннего сгорания, а также процессов, протекающих в рабочих камерах ДВС. Моделирование проводится в интерактивной системе имитационного моделирования <<АЛБЕЯ>>. При описании модулей раскрывается их назначение, способы соединения с соседними модулями, структура и задаваемые параметры.

Указания предназначены для студентов, аспирантов и сотрудников кафедры ДВС УГАТУ при расчете процессов, протекающих в газоздушных трактах и цилиндрах двигателей внутреннего сгорания в интерактивной системе имитационного моделирования <<АЛБЕЯ>>.

Рецензенты:

Содержание

Принятые обозначения	4
Введение.....	5
1. Общая информация о моделях элементов ДВС.....	6
1.1. Газодинамические модели	6
1.2. Модели горения и теплообмена	8
1.3. Пример выбора гидравлических сопротивлений	8
2. Описание общих параметров.....	10
2.1. Общие параметры, определяющие вид расчета	10
2.2. Конструктивные параметры двигателя	10
2.3. Характеристика топлива	11
2.4. Параметры, характеризующие процесс горения	12
2.5. Закон изменения площади проходного сечения клапана от угла ПКВ	13
2.6. Интегральные параметры двигателя.....	14
2.7. Дополнительные параметры	16
3. Описание газодинамических модулей.....	17
3.1. Порт типа ОТВЕРСТИЕ	17
3.2. Модуль элемент АТМОСФЕРА	18
3.3. Модуль элемент ЦИЛИНДР	18
3.4. Модуль элемент КАМЕРА	24
3.5. Модуль элемент ТРУБКА	25
3.6. Модуль элемент РЕСИВЕР	27
3.7. Модуль элемент ТРОЙНИК.....	28
3.8. Модуль элемент ЩЕЛЬ	31
3.9. Модуль связи ДИАФРАГМА, ОКНО, КЛАПАН	32
3.10. Модуль связи СВЯЗЬ.....	34
3.11. Обратный клапан	34
3.12. Геометрические параметры продувочных, впускных и выпускных окон в цилиндре двухтактного двигателя.....	35
4. Результаты моделирования ДВС	36
5. Методика задания входных данных.....	37
5.1. Подготовительный этап.....	37
5.2. Этап задания данных в системе “АЛЬБЕЯ”.....	37
5.3. Этап отладки и запуска на расчет	38
Список использованной литературы	39

Принятые обозначения

ДВС	- двигатель внутреннего сгорания;
ГВТ	- газоздушный тракт;
РК	- рабочая камера;
КС	- камера сгорания;
КШМ	- кривошипно-шатунный механизм;
КВ	- коленчатый вал;
КК	- кривошипная камера;
ПДП	- противоположно движущиеся поршни;
ТВС	- топливоздушная смесь;
СЗ	- свежий заряд;
РТ	- рабочее тело;
ОГ	- отработавшие газы;
пр.сг.	- продукты сгорания;
ВМТ	- верхняя мертвая точка;
НМТ	- нижняя мертвая точка;
ПКВ	- поворот коленчатого вала;
МЭ	- модуль элемента;
МС	- модуль связи;
мех.	- механические;
КПД	- коэффициент полезного действия;
\$	- обозначение внутреннего порта в модулях;
ξ	- коэффициент гидравлических потерь;
Re	- число Рейнольдса;
A	- коэффициент формы сечения;
коэф.	- коэффициент;
град.	- градусы.

Введение

Настоящие методические указания являются продолжением учебного пособия “Система имитационного моделирования “АЛЬБЕЯ” (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста”/1/. Данные методические указания описывают прикладные модули, используемые в системе имитационного моделирования “АЛЬБЕЯ”, разработанной на кафедре двигателей внутреннего сгорания Уфимского государственного авиационного технического университета, для расчета газоздушных трактов и рабочих процессов, протекающих в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). Приведены краткая информация об используемых моделях, структуры прикладных модулей с расшифровкой их параметров и особенностей применения. При описании параметров прикладного модуля данные, отмеченные знаком “*“, должны быть обязательно определены при инициализации расчетной схемы, а данные, отмеченные знаком “**“, задаются в зависимости от конструктивных особенностей двигателя и условий, конкретно оговоренных в описании соответствующего модуля и параметра. Не отмеченные этими знаками параметры являются информационными. Они не задаются и не редактируются, а их значения являются результатом расчета и используются как промежуточные или же как конечные данные. В скобках, после описания тех параметров, которые автоматически контролируются системой “АЛЬБЕЯ” на правильность задания исходных данных приведены их возможные значения.

Для более точного понимания логики задания исходных параметров, следует иметь в виду, что: сразу после инициализации производится расчет процессов в цилиндре при закрытых органах газообмена (тепловой расчет), и только после этого начинается моделирование процессов во всем двигателе, включая его газоздушный тракт (ГВТ); начало и конец цикла совпадает с открытием выпускного клапана (окна).

Справку по используемым модулям в системе имитационного моделирования “АЛЬБЕЯ” при работе можно получить нажав совместно клавиши <Ctrl> и <F1>.

Данные методические указания должны помочь студентам и пользователям системой “АЛЬБЕЯ” при расчетах газодинамических показателей двигателей с учетом особенностей его газоздушного тракта.

1. Общая информация о моделях элементов ДВС

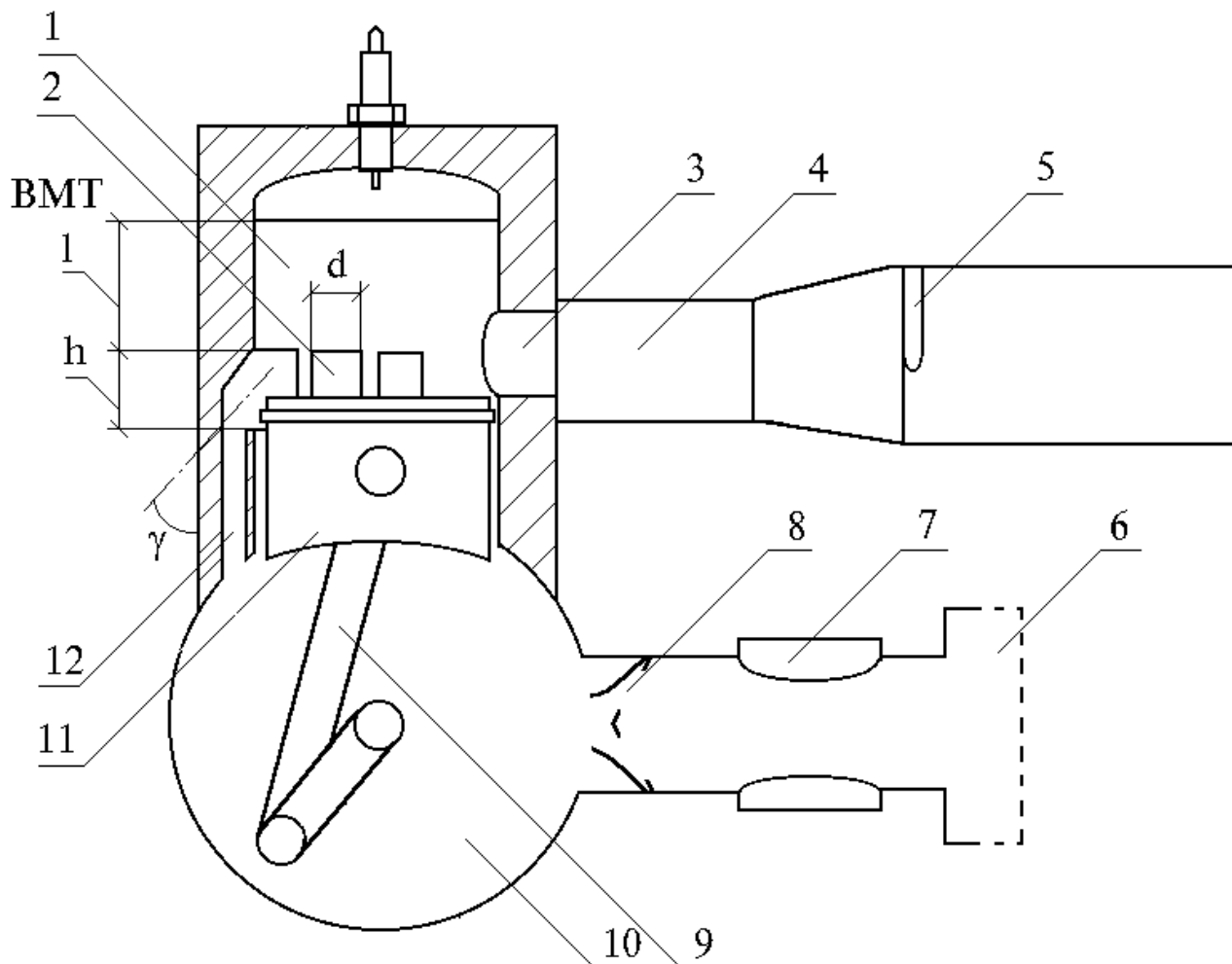
Прикладные модули газовоздушного тракта двигателя внутреннего сгорания в системе “АЛБЕЯ” предназначены для моделирования рабочих процессов в комбинированных ДВС. Они позволяют уже на стадии проектирования оценить технико-экономические показатели вновь создаваемых двигателей, исследовать влияние конструктивных особенностей на них, а также проводить анализ работы существующих двигателей.

Так как ГВТ двигателя (рис.1) включает в себя ряд типовых конструктивных элементов, таких, как впускные и выпускные органы, карбюратор, рабочая камера, ресиверы, трубопроводы и т.д., то имея математические модели, описывающие состояние газа в пределах одного элемента и оформленные в виде отдельных программных модулей, можно собрать расчетную схему большинства существующих ГВТ ДВС, выполненных по традиционной схеме. Описание физических и математических моделей газодинамических процессов, протекающих в типовых (основных) конструктивных элементах двигателя приведены в /2, 3, 4, 5/. Программные модули отдельных элементов или подсистем ДВС будут в дальнейшем называться **прикладными модулями** или просто **модулями**. Прикладной модуль оформляется в виде **модуля элемента (МЭ)** или **модуля связи (МС)**.

1.1 Газодинамические модели

Прикладные гидро- и газодинамические модули базируются на уравнениях Эйлера для гладких течений. Сила трения в них учитывается в гидравлическом приближении.

Для расчета местных сопротивлений использованы основные выводы задачи о распаде произвольного разрыва. В классической задаче для гладкого трубопровода с постоянной площадью поперечного сечения проблема местного сопротивления не возникает. Эта проблема возникает при рассмотрении распада произвольного разрыва в ступенчатом канале. Рассчитать распад произвольного разрыва можно, если известно распределение давления по стенке в зоне скачка сечения. Этот подход неудобен, а часто и не реализуем из-за отсутствия информации о распределении давления в зоне местного сопротивления. Но эту проблему можно решить введя вместо распределения давления по поверхности местного сопротивления коэффициент восстановления полного давления, учитывающий гидравлические потери и однозначно связанный с традиционными коэффициентами гидравлического сопротивления и коэффициентом скорости. Этот коэффициент можно практически рассчитать для течения с любыми местными сопротивлениями, которые есть в справочной литературе. Такие сведения представлены в обширной справочной литературе (например, /6, 7, 8/). Разумеется, этот расчет приближенный, однако здесь можно отметить два фактора, оправдывающие подобный подход.



1 - Рабочая камера (цилиндр); 2 - перепускные окна; 3 - выпускные окна; 4 - выпускной трубопровод; 5 - выпускная щель (отверстие); 6 - воздушный фильтр (ресивер); 7 - карбюратор; 8 - впускной обратный клапан; 9 - кривошипно-шатунный механизм; 10 - кривошипная камера; 11 - поршень; 12 - перепускной канал; l - расстояние от ВМТ до верхней кромки окна; h - высота окна; d - ширина окна, γ - угол наклона окна.

Рис.1. Конструктивная схема двухтактного двигателя

Во-первых, принципиально для расчета в зоне местного сопротивления нужно использовать трехмерные модели. Но на сегодня отсутствуют практические возможности непосредственного решения уравнений Навье - Стокса "в лоб", в связи с чем приходится привлекать экспериментальные данные по характеристикам турбулентности, что в конечном счете, с точки зрения определения гидравлических потерь, эквивалентно их заданию по справочным данным, а сложность расчета и затраты времени возрастают многократно.

Во-вторых, справочная литература представляет данные для стационарных потоков, а течение газа в ДВС является принципиально нестационарным. Однако

в соответствии с теорией Гленсдорфа-Пригожина известно, что потери и производство энтропии в стационарном потоке минимальны. Анализ показывает, что даже для очень "тяжелых" режимов течения в ДВС дополнительные потери от нестационарности не превышают 30%. Поэтому появляется возможность проверить их влияние на показатели двигателя, а при сравнительной оценке вариантов роль их и того меньше.

1.2 Модели горения и теплообмена

Модель процессов в рабочей камере цилиндра, реализованная в модуле ЦИЛИНДР, учитывает изменение показателя адиабаты в зависимости от температуры, диссоциацию газов (основных компонент) и теплообмен газов со стенками цилиндра. В связи со сложностью реализации трехмерных газодинамических моделей в основу описания процесса горения положена модель горения Вибе. Коэффициент теплопередачи для расчета теплообмена в цилиндре определяется по формуле Вошни. Математические модели процессов горения и теплообмена приведены в /5/.

Теплообмен газов со стенками трубопроводов ГВТ учитывается коэффициентом теплоотдачи в модуле ТРУБКА и в описываемой версии системы задается постоянной величиной.

1.3 Пример выбора гидравлических сопротивлений

На примере определения потерь полного давления (ΔP) в трубопроводе с поворотом потока продемонстрируем использование справочных данных для задания в исходных параметрах коэффициента местных потерь давления.

Пусть труба круглая, отношение радиуса поворота к гидравлическому диаметру (R/D_0) равно 0,9, угол поворота $d = 90$ град.

В "Справочнике по гидравлическим сопротивлениям" Идельчика И.Е. /8/ находим раздел, соответствующий рассчитываемому сопротивлению (стр. 182). Потери на трение в зависимости от числа Re учитываются заданием $\Delta P = f(Re, \Delta)$, где Δ - шероховатость, а потери, связанные с собственно местными сопротивлениями относим к одному сечению, располагаемому, как правило, вблизи геометрического центра местного сопротивления.

Из таблиц 6-2, 6-3, или из графиков а, б и с /8, с. 182 - 183/ определяем коэффициент местных потерь $\xi_m = A_1 \cdot V_1 \cdot C_1$, где по таблице 6-4 определяем справочные коэффициенты по числу Re и шероховатости Δ :

$$A_1 = 1,0; \quad V_1 = 0,28; \quad C_1 = 1,0; \quad K_{Re} = 64 \cdot \lambda_{Re};$$

Получим для технически гладкой трубы ($\xi_{тр}=0$) коэффициент гидравлических потерь:

$$\xi = K_{Re} \cdot A_1 \cdot V_1 \cdot C_1 \quad - \text{ для } Re = 3 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^5; \quad (1)$$

$$\xi = \xi_m = A_1 \cdot \dots \cdot B_1 \cdot \dots \cdot C_1 \quad - \text{ для } Re > 2 \cdot \dots \cdot 10^5. \quad (2)$$

В тех случаях, когда в справочнике нет данных по потерям в рассматриваемых режимах, можно (как для $Re < 3 \cdot \dots \cdot 10^3$) экстраполировать формулу (1) на интересующий диапазон ($Re = 0 \dots 3 \cdot \dots \cdot 10^3$) или принять постоянным (равным $3 \cdot \dots \cdot 10^3$) и, затем, проверить расчет на достоверность. После чего, принять решение о необходимости дополнительных исследований местных потерь по определению их величины в неопределенной области.

Таким образом, на половине длины поворота трубопровода (это место считаем геометрическим центром местного сопротивления) устанавливается модуль ДИАФРАГМА, в исходные данные которого заносится вычисленное значение ξ , а площадь в ДИАФРАГМЕ - равной площади поперечного сечения трубопровода.

Коэффициент восстановления полного давления (ΔP) определяется автоматически в модуле ДИАФРАГМА в зависимости от расчетных чисел Маха.

2. Описание общих параметров

В области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ находятся общие параметры двигателя, то есть такие параметры, которые описывают двигатель в целом: параметры кинематической схемы двигателя, конструктивные параметры, данные по используемому топливу и т. д. В этой же области располагаются и интегральные параметры всего двигателя, характеризующие показатели его работы и являющиеся результатами расчета. Структура области кинематических данных приведена ниже.

2.1 Общие параметры, определяющие вид расчета

Общие параметры имеют следующую структуру:

Тип_ДВС_Карб_1_Дизель_2 - тип смесеобразования двигателя: 1 - карбюраторный двигатель, двигатель с впрыском легкого топлива на клапан или во впускную трубу; 2 - дизель;

Номер_текущего_цикла - номер текущего расчетного цикла;

Цикл_окончания_расчета^{*} - количество циклов, которое необходимо промоделировать;

Ключ_расчет_ДВС_1_Время_2 - ключ, который определяет вид расчёта: 1 - расчёт ДВС; 2 - расчёт схемы ГВТ без ДВС;

Продолжительность_цикла - продолжительность одного цикла, с;

Количество_цилиндров^{**} - количество цилиндров в двигателе, (0-8);

Обороты_пост_Да_1_Нет_2^{*} - расчёт ведётся: 1 - с постоянными оборотами; 2 - с переменными оборотами (необходимо наличие МЭ механических потерь в расчетной схеме двигателя и установить **Расчет_мех_пот_Нет_1_Да_2** = 2);

Ключ_зажигания_Вык_1_Вк_2^{*} - ключ включения зажигания двигателя: 1 - режим холодной прокрутки двигателя (зажигание выключено); 2 - режим работы двигателя (зажигание включено);

Расчет_мех_пот_Нет_1_Да_2^{*} - расчёт механических потерь: 1 - мех. потери не рассчитываются; 2 - мех. потери рассчитываются.

2.2 Конструктивные параметры двигателя

Конструктивные параметры имеют следующую структуру:

Тактность_ДВС^{*} - тактность двигателя: 2 - двухтактный двигатель; 4 - четырехтактный двигатель;

Компоновка_ДВС_Об_1_ПДП_2^{*} - конструктивная схема двигателя: 1 - двигатель с одним поршнем в цилиндре; 2 - двигатель с противоположно-движущимися поршнями (ПДП);

Тип_КС_Об_1_Форкамера_2^{*} - тип камеры сгорания: 1 - неразделённая (обычная); 2 - с форкамерой;

Тип_передат_механизма^{*} - тип передаточного механизма: 1 - кривошипно-шатунный механизм; 2 - косая шайба¹;

Частота_колебаний_поршня^{**} - частота гармонических колебаний косо́й шайбы за один поворот вала, с;

Обороты_двигателя^{*} - частота вращения коленвала двигателя, (1 - 20000), об/мин;

Геометрич_степень_сжатия^{*} - геометрическая степень сжатия двигателя, (1,02 - 25);

Ход_поршня^{**} - рабочий ход поршня, (0,001 - 3), м. Параметр задается, если **Отношение_S/D** = 0;

Диаметр_цилиндра^{*} - диаметр цилиндра двигателя, (0,001 - 2), м;

Отношение_R/L^{*} - отношение радиуса кривошипа КШМ к длине шатуна R/L, (0,01 - 1);

Дезаксиал^{*} - расстояние от оси цилиндра до оси КВ, м. Поло-жительным направлением считается отклонение оси цилиндра влево от оси КВ при вращения КВ по часовой стрелке;

Угол_сдвига_КВ_ПДП^{**} - фазовый сдвиг коленчатых валов в двигателях с ПДП (используется только для двухтактных двигателей с ПДП, для четырехтактных двигателей задавать 0), град. ПКВ;

Отношение_S/D^{**} - отношение хода поршня к диаметру цилиндра двигателя, (0 - 3). Если задан **Ход_поршня**, то параметр задать равным 0, иначе **Ход_поршня** будет вычислен по параметру **Отношение_S/D**;

Коэф_конфигурации_КС^{*} - отношение площади поверхности КС к площади поверхности днища поршня, (1 - 5);

Верхний_выстой_поршня^{**} - выстой поршня в ВМТ (для схемы двигателя с косо́й шайбой), (0 - 180), град.;

Нижний_выстой_поршня^{**} - выстой поршня в НМТ (для схемы двигателя с косо́й шайбой), (0 - 180), град.;

Рабочий_объем_цилиндра - рабочий объём цилиндра двигателя, м³;

Радиус_кривошипа - радиус кривошипа КВ, м;

Угловая_скорость - средняя угловая скорость вращения КВ, рад./с;

Резерв - зарезервированная область данных;

Угол_сдвига_ПКВ_цилиндров^{*} - массив сдвига углов ПКВ в работе цилиндров относительно первого цилиндра, (0 - 720), град. ПКВ. Для первого цилиндра задавать 0.

2.3 Характеристика топлива

Характеристика топлива имеют следующую структуру:

Низшая_теплот_спос_топл^{*} - низшая теплотворная способность топлива (43933000 - для бензина, 42500000 - для дизельного топлива), Дж;

¹ в описываемой версии не реализовано

Доля_водорода_в_топливе^{*} - доля водорода (H₂) в топливе (0,145 - для бензина; 0,126 - для дизельного топлива);

Доля_кислорода_в_топливе^{*} - доля кислорода (O₂) в топливе (0 - для бензина; 0,004 - для дизельного топлива);

Доля_углерода_в_топливе^{*} - доля углерода (C) в топливе (0,855 - для бензина; 0,870 - для дизельного топлива).

2.4 Параметры, характеризующие процесс горения

Параметры, характеризующие процесс горения имеют следующую структуру:

Отношение_Lсвечи/Dc^{*} - отношение расстояния от свечи до наиболее удалённой точки КС к диаметру цилиндра, (0,2 - 2,5);

Доля_выгоревшего_топлива^{*} - доля топлива, сгорающего к концу процесса горения в методике Вибе, (0,8 - 1);

Расчет_по_ALF_1_по_Gm_и_2^{*} - расчёт состава рабочей смеси: 1 - ведется по коэф. избытка воздуха, задаваемом в параметре *Коэф_избытка_воздуха*; 2 - ведется по параметру *Цикловая_подача_топлива*;

Опорный_режим_Нет_1_Да_2^{*} - режим расчёта горения: 1 - без опорного режима (необходимо задать *Угол_опережения_зажигания*, *Период_запаз_воспламенения*, *Период_горения*, *Показатель_харак_горения*, *Коэф_избытка_воздуха* или *Цикловая_подача_топлива*, *Окружная_скорость_вихря*); 2 - по опорному режиму (необходимо задать для оборотов опорного режима все параметры, которые необходимы для режима 1, и *Обороты_опорного_режима*, *Коэф_остаточных_газов_о_р*, *Давление_начала_сжатия_о_р*, *Темпер_начала_сжатия_о_р*);

Тип_интерполяции_параметр^{*} - закон по которому интерполируются массивы: *Угол_опережения_зажигания*, *Период_запаз_воспламенения*, *Период_горения*, *Показатель_харак_горения*, *Коэф_избытка_воздуха* или *Цикловая_подача_топлива*, *Окружная_скорость_вихря*. 1 - линейная интерполяция; 2 - сплайновая интерполяция;

Тип_расчета_продол_горения^{*} - вид расчета периода горения: 1 - период горения задан массивом *Период_горения*; 2 - период горения вычисляется по эмпирической формуле;

Обороты_опорного_режима^{**} - обороты опорного режима для расчёта параметров горения, об/мин. Параметр задаётся при установке параметра *Опорный_режим_Нет_1_Да_2* = 2;

Коэф_остаточных_газов_о_р^{**} - коэф. остаточных газов в опорном режиме. Параметр задается при установке параметра *Опорный_режим_Нет_1_Да_2* = 2;

Давление_начала_сжатия_о_р^{**} - давление начала сжатия в опорном режиме, Па. Параметр задается при установке параметра *Опорный_режим_Нет_1_Да_2* = 2;

Темпер_начала_сжатия_о_р^{**} - температура начала сжатия в опорном режиме, К. Параметр задается при установке параметра **Опорный_режим_Нет_1_Да_2** = 2);

Обороты_расчетного_режима^{*} - массив опорных чисел оборотов КВ, об/мин;

Угол_опережения_зажигания^{*} - массив углов опережения зажигания для соответствующих оборотов массива **Обороты_расчетного_режима**, (0 - 50), град.;

Период_запаздывания_воспламенения^{*} - массив периодов запаздывания воспламенения ТВС для соответствующих оборотов массива **Обороты_расчетного_режима**, (0 - 20), град.;

Период_горения^{**} - массив периодов горения в углах ПКВ для соответствующих оборотов массива **Обороты_расчетного_режима**, (для карбюраторных - 40 - 60, для дизелей - 60 - 150), град.;

Показатель_харак_горения^{*} - массив показателей характера горения для соответствующих оборотов массива **Обороты_расчетного_режима** (для дизелей - 0,1 - 1,2, для карбюраторных двигателей - 3 - 4);

Коэф_избытка_воздуха^{**} - массив коэффициентов избытка воздуха для соответствующих оборотов массива **Обороты_расчетного_режима**, (0,7 - 3). Параметр задается при установке параметра **Расчет_по_ALF_1_по_Gm_ц_2** = 1;

Цикловая_подача_топлива^{**} - массив цикловых подач топлива для соответствующих опорных оборотов, мг. Параметр задается при установке параметра **Расчет_по_ALF_1_по_Gm_ц_2** = 2;

Окружная_скорость_вихря^{*} - массив окружных скоростей вихря для соответствующих опорных оборотов, м/с. Рекомендуемая величина составляет 2,3 средней скорости поршня.

2.5 Закон изменения площади проходного сечения клапана от угла ПКВ

Закон открытия клапана задается, если в одном из МС установлен **Закон_открытия_сечения=3**, т.е. площадь проходного сечения на каждом расчетном шаге изменяется по зависимости, описанной в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ. Закон открытия клапана в зависимости от угла ПКВ имеет следующую структуру:

Закон_открытия_клапана1^{**} - закон открытия задан в зависимости: 1 - от времени¹; 2 - от угла ПКВ;

Закон_интерполяции_кл1^{**} - закон интерполяции: 1 - линейный; 2 - сплайновый (кубический). При расчете по варианту 2 необходимо задать параметр **Ключ_расчета_коэф_кл1** = 0;

Колич_точек_закона_кл1^{**} - количество точек, задаваемых в массивах **Углы_ПКВ_для_кл1**, **Площади_клапана1**, (до 25);

¹ в описываемой версии не реализовано

*Углы_ПКВ_для_кл1*** - массив углов ПКВ для соответствующих площадей клапана в массиве *Площади_клапана1*, (0 - 720), град.;

*Площади_клапана1*** - массив площадей сечения клапана для соответствующих углов ПКВ в массиве *Углы_ПКВ_для_кл1*, (0 - 0,2), м²;

*Период_времени_угл_кл1*** - период открытия клапана по времени или углу ПКВ (не используется);

*Ключ_расчета_коэф_кл1*** - ключ расчета коэффициентов для кубического сплайна: 0 - коэф. кубического сплайна вычисляются автоматически (предварительно изменить параметры *Площади_клапана1* и задать *Закон_интеполяции_кл1* = 2); 1 - коэф. вычислены и занесены в *Коэф_кубического_спл_кл1*;

Коэф_кубического_спл_кл1 - рабочие массивы для сплайнов;

Для второго, третьего и четвертого клапанов параметры, которые необходимо задать, имеют такой же вид, как и для первого клапана.

УГОЛ_ПКВ_1 - текущий угол ПКВ для первого цилиндра, град.;

УГОЛ_ПКВ_2 - текущий угол ПКВ для второго цилиндра, град.;

.....

УГОЛ_ПКВ_8 - текущий угол ПКВ для восьмого цилиндра, град.;

Начальный_угол_ПКВ_цикла - угол ПКВ начала цикла (соответствует углу начала выпуска), град.;

Расчетный_шаг_по_углу_ПКВ - расчётный шаг моделирования по углу ПКВ, град..

2.6 Интегральные параметры двигателя

Интегральные параметры двигателя имеют следующую структуру:

Рабочий_объем_двигателя - общий рабочий объём двигателя, м³;

Эффективная_мощность - эффективная мощность двигателя, кВт;

Эффективный_момент - эффективный крутящий момент двигателя, Н·м;

Эффективное_давление - среднее эффективное давление по всем цилиндрам двигателя, Па;

Коэф_остаточных_газов - средний коэф. остаточных газов по всем цилиндрам двигателя;

Коэф_наполнения - средний коэф. наполнения по всем цилиндрам двигателя;

Коэф_подачи - коэф. подачи воздуха;

Коэф_использования - коэф. использования поданного воздуха;

Эфф_уд_расход_топлива - эффективный удельный расход топлива двигателя, кг/(кВт·ч);

Часовой_расход_топлива - часовой расход топлива через двигатель, кг/ч;

Эффективный_КПД - эффективный КПД двигателя;

Механический_КПД - механический КПД двигателя;

Индикаторная_мощность - индикаторная мощность двигателя за цикл, кВт;

Индикаторный_момент - индикаторный крутящий момент двигателя за цикл, Н·м;

Индикаторное_давление - среднее индикаторное давление, Па;

Индикаторная_работа - индикаторная работа двигателя за цикл, Дж;

Инд_уд_идеаль_расход_топл - индикаторный удельный “идеальный” расход топлива (рассчитывается по топливу, участвующему в индикаторном процессе), кг/(кВт·ч);

Инд_уд_действ_расход_топл - индикаторный удельный “действительный” расход топлива (учитывается все топливо, прошедшее через двигатель), кг/(кВт·ч);

Индикаторный_идеаль_КПД - индикаторный “идеальный” КПД двигателя (рассчитывается по топливу, участвующему в индикаторном процессе);

Индикаторный_действ_КПД - индикаторный “действительный” КПД двигателя (учитывается все топливо, прошедшее через двигатель);

Мощность_мех_потерь - мощность механических потерь за цикл, кВт;

Момент_мех_потерь - момент механических потерь за цикл, Н·м;

Работа_мех_потерь - работа механических потерь за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Текущая_мощность_мех_потерь - мощность механических потерь на текущем расчетном шаге, кВт;

Текущий_эфф_момент - эффективный момент на текущем расчетном шаге, Н·м;

Текущий_инд_момент - индикаторный крутящий момент на текущем расчетном шаге, Н·м;

Текущий_момент_мех_потерь - момент механических потерь на текущем расчетном шаге, Н·м;

Миним_эффективный_момент - минимальный за цикл эффективный крутящий момент, Н·м;

Максим_эффективный_момент - максимальный за цикл эффективный крутящий момент, Н·м;

Неравномерн_крут_момента - неравномерность крутящего момента за цикл, Н·м;

Расход_топлива_идеальный - “идеальный” расход топлива за цикл (учитывается топливо, участвующее в индикаторном процессе), кг;

Расход_топлива_за_цикл - “действительный” расход топлива за цикл (учитывается все топливо, прошедшее через двигатель), кг;

Теор_колич_воздуха - количество воздуха в рабочем объеме одного цилиндра двигателя при атмосферных условиях, кг;

Ид_часовой_расход_воздуха - часовой расход воздуха через двигатель (учитывается воздух, участвующий в индикаторном процессе), кг/ч;

Часовой расход воздуха - средний часовой расход воздуха через двигатель (учитывается весь воздух, прошедший через двигатель), кг/ч;

Мощность насосных потерь - мощность насосных потерь, кВт;

Массив инд работы цилиндр - массив цикловых индикаторных работ цилиндров, Дж;

Массив работы кривошипной - массив работы газов в КК, Дж;

Массив инд мощности цилин - массив индикаторных мощностей цилиндров, кВт;

Массив коэф. наполнения - массив коэф. наполнения цилиндров;

Массив уд. расходов топлив - массив удельных расходов топлива в цилиндрах, кг/(кВт·ч).

2.7 Дополнительные параметры

Дополнительные параметры имеют следующую структуру:

Флаг ВМТ - признак, показывающий, что поршень находится в ВМТ (необходим для обновления графиков по углу ПКВ);

Иниц шаг для мех потерь - номер шага для инициализации динамики ДВС;

Резерв1 - зарезервированная область данных;

Пок ль адиабаты пр сгор - показатель адиабаты пр.сг.;

Газ постоянная пр сгор - газовая постоянная пр.сг., Дж/(кг·К);

Атм давление на впуске * - атмосферное давление на входе во впускную систему (используется для определения коэффициента наполнения), (5000 - 150000000), Па;

Атм температура на вп * - атмосферная температура на входе во впускную систему (используется для определения коэффициента наполнения), (200 - 1000), К;

Угол открытия клапанов - угол ПКВ открытия клапана, град. (или время, с);

Угол закрытия клапанов - угол ПКВ закрытия клапана, град. (или время, с);

Молярная масса пр сгор - молярная масса пр.сг., моль;

Объемные доли пр сгор - массив объемных долей пр.сг. (состав массива: [0] - углекислый газ CO₂; [1] - окись углерода CO; [2] - вода H₂O; [3] - водород H₂; [4] - азот N₂; [5] - кислород O₂);

Время окончан пред цикла - время окончания моделирования предыдущего цикла, с;

Признак начала цикла - признак начала цикла: 0 - не начало, 1 - начало;

Признак конца цикла - признак конца цикла: 0 - не конец, 1 - конец;

Вспомогат массив давления - вспомогательный массив давлений перед впускными и за выпускными клапанами, Па;

Вспомогат массив ключей - вспомогательный массив.

3. Описание газодинамических модулей

Базовый набор прикладных модулей включает в себя следующие модули: АТМОСФЕРА, ЦИЛИНДР, КАМЕРА, ТРУБКА, РЕСИВЕР, ТРОЙНИК, ДИАФРАГМА, ОКНО, КЛАПАН, СВЯЗЬ, ЩЕЛЬ.

Внутренний порт (\$) модуля не может быть связан ни с каким другим портом этого или другого модуля. Все модули ГВТ имеют для связи между собой порты типа ОТВЕРСТИЕ.

3.1 Порт типа ОТВЕРСТИЕ

Порт типа ОТВЕРСТИЕ предназначен для передачи параметров между МЭ и МС. Параметры в нем устанавливаются автоматически в начале расчёта, изменяются в процессе расчета и редактированию не подлежат. Порт имеет следующую структуру:

Статус - статус порта, устанавливающий признак связи: 0 - порт не подключен к связи; 1 - порт подключен к связи;

Тип_порта - указывает тип порта: 1 - порт типа ОТВЕРСТИЕ;

Тип_ГВТ - принадлежность модуля к типу ГВТ: 1 - принадлежит к впускному ГВТ; -1 (минус один) - принадлежит к выпускному ГВТ;

Давление - давление газа, Па;

Температура - температура газа, К;

Объем - объём ёмкости, м³;

Число_Маха - число Маха (положительный знак соответствует втеканию газа в МЭ);

Порция_газа - масса передаваемой порции газа в МЭ, кг;

Порция_энергии - энергия, передаваемая с порцией газа, Дж;

Доля_воздуха_в_смеси - доля воздуха в передаваемой порции газа;

Доля_энергии_воздуха - доля энергии воздуха в параметре **Порция_энергии**;

Сечение - площадь сечения соединяемого трубопровода, м²;

Скорость_потока - информационная скорость потока, (положительный знак соответствует втеканию газа в МЭ), м/с;

Кинематическая_вязкость - кинематическая вязкость газа, м²/с;

Показатель_адиабаты - показатель адиабаты газа;

Газовая_постоянная - газовая постоянная, Дж/(кг·°К);

Инвариант_Римана+ - положительный инвариант Римана (для отображения на графике трека), м/с;

Инвариант_Римана- - отрицательный инвариант Римана (для отображения на графике трека), м/с;

Сечение_дополнительное - площадь проходного сечения, м²;

Резерв - резерв (не задействован);

Тип_модуля - тип модуля, которому принадлежит порт: 0 - вход от модуля АТМОСФЕРА; 1 - вход от модуля ТРУБКА; 2 - вход от модулей РЕСИВЕР или ЦИЛИНДР;

IntrName - параметр, необходимый для интерфейса.

3.2 Модуль элемент АТМОСФЕРА

Модуль АТМОСФЕРА предназначен для имитации окружающей среды, в которой работает двигатель, и моделирует ресивер бесконечно большого объема. Атмосферные условия на впуске и выпуске двигателя могут быть разными. Он может быть связан с модулями типа ЦИЛИНДР, ТРУБКА, РЕСИВЕР, КАМЕРА. При связывании его с модулями ЦИЛИНДР, КАМЕРА или РЕСИВЕР автоматически генерируется МС типа ОКНО, а при связывании с модулем ТРУБКА генерируется МС типа КЛАПАН. Модуль имеет два порта: входной имеет тип ОТВЕРСТИЕ и обозначается 1_ОТВ; внутренний служит для хранения параметров газа окружающей среды и обозначается \$. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Тип_газа_0_воз_1_пр_сг* - тип газа: 0 - воздух; 1 - продукты сгорания; 2 - произвольный газ (необходимо задать параметры *Газовая_постоянная* и *Показатель_адиабаты*);

Давление* - атмосферное давление, (5000 - 150000000), Па;

Температура* - атмосферная температура, (200 - 1000), К;

Газовая_постоянная** - газовая постоянная, (200 - 350), Дж/(кг·К);

Показатель_адиабаты** - показатель адиабаты, (1 - 2);

Кинематическая_вязкость** - кинематическая вязкость (для воздуха - $13,4 \cdot 10^{-6}$), м²/с. Параметр задается, если в МС заданы **Тип_потерь_полного_давления** = 3;

Число_Маха_полетное* - число Маха полётное (для набегающего потока число Маха $M > 0$);

Резерв - резерв (не используется);

Длина** - шкала изображения модуля на треке, м.

3.3 Модуль элемент ЦИЛИНДР

Модуль ЦИЛИНДР предназначен для расчёта следующих процессов в РК двигателя с учётом теплообмена со стенками:

- а) сжатие свежего заряда;
- б) сгорание топлива с учётом процессов диссоциации;
- в) расширение продуктов сгорания;
- г) смена заряда при открытых окнах (выпуск, продувка, впуск).

Он может быть связан с модулями типа ТРУБКА, АТМОСФЕРА, РЕСИВЕР, КАМЕРА. При связывании его с модулем ТРУБКА автоматически генерируется МС типа КЛАПАН, а при связывании с модулями АТМОСФЕРА, КАМЕРА или РЕСИВЕР генерируется МС типа ОКНО. Модуль имеет пять портов. Два входных, обозначаемых как 1_ОТВ и 2_ОТВ используются для имита-

ции впускных органов. Два выходных, обозначаемых 3_ОТВ и 4_ОТВ используются для имитации выпускных органов. Внутренний порт служит для хранения внутренних параметров цилиндра и обозначается \$. Структура внутреннего порта приведена ниже.

Тепловые потоки через элементы конструкции:

Площ_поверх_гильзы - площадь поверхности теплообмена гильзы цилиндра на текущем расчетном шаге, м²;

Темпер_стенки_гильзы* - средняя температура стенок гильзы цилиндра, (200 - 1000), К;

Тепл_пот_гильза_шаг - тепловой поток через поверхность стенки гильзы цилиндра в течение расчетного шага, Дж;

Тепл_пот_гильза_цикл - суммарный тепловой поток через поверхность стенки гильзы цилиндра в течение цикла, Дж;

Площ_поверх_гол_цилиндра - площадь поверхности теплообмена КС в головке цилиндра, м²;

Темпер_стенки_гол_цилин* - средняя температура стенок КС в головке цилиндра, (200 - 1000), К;

Тепл_пот_гол_цил_шаг - тепловой поток через поверхность КС в головке цилиндра в течение расчетного шага, Дж;

Тепл_пот_гол_цил_цикл - суммарный тепловой поток через поверхность КС в головке цилиндра в течение цикла, Дж;

Площ_поверх_поршня_1 - площадь огневой поверхности (днища) поршня, м²;

Темпер_стенки_поршня_1* - средняя температура днища поршня, (200 - 1000), К;

Тепл_пот_поршня_1_шаг - тепловой поток через поверхность днища первого поршня в течение расчетного шага, Дж;

Тепл_пот_поршня_1_цикл - суммарный тепловой поток через поверхность днища первого поршня в течение цикла, Дж;

Площ_поверх_поршня_2 - площадь днища второго поршня двигателя с ПДП, м²;

Темпер_стенки_поршня_2* - средняя температура днища второго поршня в цилиндре двигателя с ПДП, (200 - 1000), К;

Тепл_пот_поршня_2_шаг - тепловой поток через поверхность днища второго поршня в цилиндре ДВС с ПДП в течение расчетного шага, Дж;

Тепл_пот_поршня_2_цикл - суммарный тепловой поток через поверхность днища второго поршня в цилиндре ДВС с ПДП в течение цикла, Дж.

Параметры в цилиндре:

Номер_цилиндра* - номер цилиндра в многоцилиндровом двигателе (1 - 8);

Ключ_зажигания_Вык_1_Вк_2 - ключ включения зажигания двигателя: 1 - холодная прокрутка двигателя; 2 - работа цилиндра при включённом зажигании;

Угол_перетекания_воздуха* - интервал в углах ПКВ, отсчитываемый от момента появления в цилиндре СЗ до момента попадания СЗ в выпускные органы

(может быть получен из экспериментальных исследований двигателя, рекомендуемые значения: 0 - 10 - для четырехтактных ДВС; 20 - 150 - для двухтактных ДВС), град. ПКВ;

Относит_объем_заст_зоны * - отношение объема застойных зон с ОГ к рабочему объёму цилиндра V_h (рекомендуемые значения: 0 - для четырехтактных ДВС; 0 - 0,2 - для двухтактных ДВС);

Коэф_граничного_смешения * - коэффициент, учитывающий смешение газов на границе зон СЗ и пр.сг., (0 - 0,05);

Давление * - давление газа в РК на текущем расчетном шаге (перед началом расчета необходимо задать), Па. Параметр используется как начальное давление при инициализации;

Температура * - усреднённая температура газа в РК на текущем расчетном шаге (перед началом расчета необходимо задать), К. Параметр используется как начальная температура при инициализации;

Объем - объём РК на текущем расчетном шаге, m^3 ;

Темп_ра_свежего_заряда - средняя температура газа в зоне свежего заряда, К;

Температура_прод_сгор - средняя температура газов в зоне пр. сг., К;

Масса_воздуха - масса СЗ в цилиндре на текущем расчетном шаге, кг;

Масса_продуктов_сгорания - масса пр.сг. в цилиндре на текущем расчетном шаге, кг;

Пок_ль_адиабаты_воздуха - показатель адиабаты для воздуха;

Газ_постоянная_воздуха - газовая постоянная для воздуха, Дж/(кг·°К);

Пок_ль_адиабаты_пр_сгор - показатель адиабаты для пр.сг.;

Газ_постоянная_пр_сгор - газовая постоянная для пр.сг., Дж/(кг·°К);

Мак_ое_давление_за_цикл - максимальное давление газа в РК за цикл, Па;

Мак_ая_температура_за_цикл - максимальная средняя температура газа в РК за цикл, К;

Угол_макс_давления_за_цикл - угол ПКВ, соответствующий максимальному давлению цикла, град.;

Угол_макс_температ_за_цикл - угол ПКВ, соответствующий максимальной температуре цикла, град..

Индикаторные параметры цилиндра:

Индикаторная_мощность - индикаторная мощность цилиндра за цикл, кВт;

Индикаторное_давление - среднее индикаторное давление цикла, Па;

Индикаторная_работа_цикла - индикаторная работа цилиндра за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Инд_уд_идеаль_расход_топл - индикаторный "идеальный" удельный расход топлива (рассчитывается по топливу, участвующему в индикаторном процессе), кг/(кВт·ч);

Инд_уд_действ_расход_топл - индикаторный “действительный” удельный расход топлива (учитывается все топливо, прошедшее через цилиндр), кг/(кВт·ч);

Часовой_расход_топлива - часовой “действительный” расход топлива, кг/ч;

Коэф_наполнения - коэф. наполнения;

Коэф_подачи - коэф. подачи;

Коэф_использования - коэф. использования;

Коэф_остаточных_газов - коэф. остаточных газов;

Индикаторный_идеаль_КПД - “идеальный” индикаторный КПД;

Индикаторный_действ_КПД - “действительный” индикаторный КПД;

Коэф_эффект_сгорания - коэф. полноты сгорания;

Использ_теплота_сгорания - количество тепла, подведённое в цилиндр в течение цикла, Дж;

Теор_необх_колич_воздуха - стехиометрическое соотношение количества воздуха и топлива, кг возд./кг топл.;

Масса_поданного_воздуха - масса свежего заряда, проходящая через цилиндр в течение цикла (используется для вычисления *Коэф_подачи*), кг;

Масса_задержанного_воздуха - масса заряда, удерживаемого в цилиндре после закрытия всех органов газообмена (используется для вычисления *Коэф_наполнения*), кг.

Параметры газов в процессе сгорания:

Угол_закрытия_впуск_канал - угол ПКВ, при котором закрываются впускные окна, град.;

Угол_начала_горения - угол ПКВ, при котором начинается горение ТВС, град.;

Угол_конца_горения - угол ПКВ, при котором заканчивается горение ТВС, град.;

Угол_открытия_выпуск_кана - угол ПКВ, при котором начинают открываться выпускные окна, град.;

Коэф_избытка_воздух - коэф. избытка воздуха;

Цикловая_подача_топлива - цикловая подача топлива, кг;

Расход_топлива_за_цикл - расход топлива за цикл с учетом потерь в выпускную систему, кг;

Показатель_харак_горения - показатель характера горения в формуле Вошни /2/;

Текущая_работа_насос_потерь - работа насосных потерь за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Работа_насос_потерь_за_цикл - работа поршня во время насосных ходов за цикл, Дж;

Масса_воздуха_вспомогат - масса свежего заряда, поданного в цилиндр из впускной системы за период от начала цикла до текущего угла ПКВ (используется для вычисления коэффициента подачи), кг;

Выделенная_теплота_горения - количество теплоты, выделившейся при сгорании 1 кг ТВС, Дж;

Теплота_диссоциации - количество теплоты, поглощенное при диссоциации пр.сг. за период от начала горения до текущего угла ПКВ, Дж;

Средняя_скорость_поршня - средняя скорость поршня, м/с.

Состав продуктов сгорания:

Доля_co2_в_прод_сгор - объёмная доля углекислого газа (CO_2) в продуктах сгорания;

Доля_h2o_в_прод_сгор - объёмная доля воды (H_2O) в пр.сг.

Параметры газов в процессе сжатия:

Удельный_объем_газов - удельный объём рабочего тела, $\text{м}^3/\text{кг}$;

Температура_сжатия - температура рабочего тела в процессе сжатия, К;

Давление_сжатия - давление в РК при условии, что воспламенения и горения ТВС нет, Па;

Объем_в_начале_сжатия - удельный объём рабочего тела в начале сжатия (v_a), м^3 ;

Температура_в_начале_сжатия - температура рабочего тела в начале сжатия (T_a), К;

Давление_в_начале_сжатия - давление в РК в начале сжатия (P_a), Па;

Макс_коэф_молек_измен - максимальное значение химического коэффициента молекулярного изменения газа за цикл;

Доля_выгоревшего_топлива - текущая доля выгоревшего топлива за период от начала горения до текущего угла ПКВ;

Давление_начала_горения - давление в РК в начале горения (P_c), Па;

Темпер_начала_горения - температура рабочего тела в начале горения (T_c), К;

Уд_объем_в_начале_горения - удельный объём рабочего тела в начале горения (v_c), $\text{м}^3/\text{кг}$;

Максимальное_давление - максимальное давление газа за цикл (P_z), Па;

Максимальная_температура - максимальная средняя (по объёму) температура газов за цикл (T_z), К;

Угол_макс_давления - угол ПКВ при максимальном давлении газов за цикл, град.;

Угол_макс_температуры - угол ПКВ при максимальной температуре газов за цикл, град.;

Масса_свежего_заряда - масса свежего заряда в цилиндре к моменту закрытия впускных органов, кг;

Признак_нача_горения_и_рас - признак начала процесса горения-расширения: 1 - идет горение, 0 - нет горения;

Заброс_прод_сгор_трубка_1 - масса остаточных газов, попавших во впускную систему из цилиндра через порт 1_ОТВ при газообмене, кг;

Выброс_свеж_заряда_трубка_1 - масса свежего заряда, вернувшегося из цилиндра во впускную систему через порт 1_ОТВ во время газообмена, кг;

Тип_связи_порта_трубка_1 - тип связи входного порта 1_ОТВ с соседним модулем: 1 - порт связан с трубопроводом; 2 - порт связан с ёмкостью или атмосферой;

Заброс_прод_сгор_трубка_2 - масса остаточных газов, попавших во впускную систему из цилиндра через порт 2_ОТВ при газообмене, кг;

Выброс_свеж_заряда_трубка_2 - масса свежего заряда, вернувшегося из цилиндра во впускную систему через порт 2_ОТВ во время газообмена, кг;

Тип_связи_порта_трубка_2 - тип связи входного порта 2_ОТВ с соседним модулем: 1 - порт связан с трубопроводом; 2 - порт связан с ёмкостью или атмосферой;

Заброс_прод_сгор_трубка_3 - масса остаточных газов, вытесненных в выпускную систему через порт 3_ОТВ цилиндра при газообмене, кг;

Выброс_свеж_заряда_трубка_3 - масса свежего заряда, вытесненного в выпускную систему через порт 3_ОТВ цилиндра во время газообмена, кг;

Тип_связи_порта_трубка_3 - тип связи выходного порта 3_ОТВ с соседним модулем: 1 - порт связан с трубопроводом; 2 - порт связан с ёмкостью или атмосферой;

Заброс_прод_сгор_трубка_4 - масса остаточных газов, вытесненных в выпускную систему через порт 4_ОТВ цилиндра при газообмене, кг;

Выброс_свеж_заряда_трубка_4 - масса свежего заряда, вытесненного в выпускную систему через порт 4_ОТВ цилиндра во время газообмена, кг;

Тип_связи_порта_трубка_4 - тип связи выходного порта 4_ОТВ с соседним модулем: 1 - порт связан с трубопроводом; 2 - порт связан с ёмкостью или атмосферой;

Массив_коорд_зон_гильзы - массив координат тепловых зон стенок цилиндра (количество зон равно 10, нумерация идет от ВМТ). Массив необходим для определения распределения тепловых потоков через стенки цилиндра;

Массив_тепловых_потоков - массив тепловых потоков через соответствующие зоны стенок цилиндра за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Тепл_поток_через_гильзу - суммарная величина теплового потока через все зоны стенки цилиндра за цикл, Дж;

Тепл_поток_через_порш1 - суммарная величина теплового потока через днище поршня за цикл, Дж;

Тепл_поток_через_порш2 - суммарная величина теплового потока через днище второго поршня (для ДВС с ПДП) за цикл, Дж;

Тепл_поток_через_головку - суммарная величина теплового потока через стенки головки цилиндра за цикл, Дж;

Массив_распред_тепла_зоны - массив распределения тепловых потоков через соответствующие зоны стенок цилиндра за цикл, Дж;

Модель_газообмена - параметр, характеризующий текущую модель расчета процессов в РК: 0 - индикаторный процесс при закрытых клапанах; 1 - органы газообмена открыты, в РК находятся только ОГ (СЗ - нет); 2 - органы газообмена

открыты, в РК происходит послойное вытеснение продуктов сгорания свежим зарядом; 3 - органы газообмена открыты, в РК находится смесь свежего заряда с продуктами сгорания;

Массив_хранения_парам - массив для хранения внутренних параметров газообмена в цилиндре;

Признак_присутствия_воздуха - признак присутствия воздуха у впускных окон: 0 - нет; 1 - есть;

Кинематическая_вязкость^{**} - кинематическая вязкость (для воздуха $13,4 \cdot 10^{-6}$), м²/с. Параметр необходимо задать, если в МС **Тип_потерь_полного_давления** = 3;

Резерв - резервная переменная (не используется);

Длина^{**} - шкала изображения модуля на треке, м.

3.4 Модуль элемент КАМЕРА

Модуль КАМЕРА предназначен для расчёта параметров газа в кривошипной камере двухтактного двигателя. Он может быть связан с модулями типа ЦИЛИНДР, ТРУБКА, АТМОСФЕРА, РЕСИВЕР, а также с другим модулем КАМЕРА. При связывании его с модулями ЦИЛИНДР, АТМОСФЕРА, РЕСИВЕР или КАМЕРА автоматически генерируется МС типа ОКНО, а при связывании с модулем ТРУБКА генерируется МС типа КЛАПАН. Он имеет десять портов - девять входных/выходных, обозначенные как 1_ОТВ, 2_ОТВ,..., 9_ОТВ, имеют тип ОТВЕРСТИЕ. Десятый, внутренний порт служит для хранения внутренних данных и обозначается - \$. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Кол_во_поршней_в_камере^{*} - количество поршней в КК, (1 - 8);

Номера_цилиндров_поршней^{*} - массив номеров цилиндров, с которым связана КК;

Максимальный_объем^{*} - максимальный объём КК, ($1 \cdot 10^{-7}$ - 2), м³;

Расстояние_от_ВМТ_до_КК^{*} - высота гильзы от ВМТ, м;

Кинематическая_вязкость^{*} - кинематическая вязкость газа, м²/с;

Давление^{*} - давление газа в КК на текущем расчетном шаге, (5000 - 10000000), Па;

Температура^{*} - средняя (по объёму) температура газа в КК на текущем расчетном шаге, (100 - 2000), К;

Масса_воздуха - масса воздуха в КК на текущем шаге расчета, кг;

Масса_продуктов_сгорания - масса пр.сг. в КК, кг;

Объем - объём КК на текущем расчетном шаге, м³;

Масса_смеси - масса смеси в КК на текущем расчетном шаге, кг;

Текущая_работа - работа газа в КК за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Цикловая_работа - работа КК за цикл, Дж.

Тепловые потоки через элементы конструкции:

Площ_поверх_камеры^{*} - площадь поверхности теплообмена в КК ($5 \cdot 10^{-4}$ - 25), м²;

Темпер_стенки_камеры^{*} - средняя температура стенок КК, (200 - 1000), К;
Тепл_пот_камеры_за_шаг - количество тепла, отводимого через поверхность КК за расчётный шаг, Дж;

Тепл_пот_камеры_за_цикл - количество тепла, отводимого через поверхность КК за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Площ_поверх_гильзы - площадь поверхности стенок цилиндра, участвующей в теплообмене в КК, м²;

Темпер_стенки_гильзы^{*} - средняя температура стенки цилиндра в КК, (200 - 1000), К;

Тепл_пот_гильза_за_шаг - количество тепла, отводимого через поверхность стенок цилиндра в КК за расчётный шаг, Дж;

Тепл_пот_гильза_за_цикл - количество тепла, отводимого через поверхность стенок цилиндра в КК, за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Площ_поверх_поршня - площадь днища поршня (используется для расчета теплообмена), м²;

Темпер_стенки_поршня^{*} - средняя температура поршня, (200 - 1000), К;

Тепл_пот_поршня_за_шаг - количество тепла, отводимое через поверхность поршня в КК за расчётный шаг, Дж;

Тепл_пот_поршня_за_цикл - количество тепла, отводимое через поверхность поршня в КК за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Резерв - резерв (не используется);

Длина^{**} - шкала изображения модуля на треке, м.

3.5 Модуль элемент ТРУБКА

Модуль ТРУБКА предназначен для расчёта одномерного нестационарного течения газа в гладком трубопроводе постоянного и переменного сечения с учётом трения и теплообмена. Он может быть связан с модулями типа ЦИЛИНДР, КАМЕРА, РЕСИВЕР, ТРОЙНИК или АТМОСФЕРА, а также с другим модулем ТРУБКА. При связывании его с модулями ЦИЛИНДР, КАМЕРА, РЕСИВЕР или АТМОСФЕРА автоматически генерируется МС типа КЛАПАН, при связывании с модулем ТРУБКА генерируется МС типа ДИАФРАГМА, а при связывании с модулем ТРОЙНИК генерируется МС типа СВЯЗЬ. Модуль имеет три порта - два входных, обозначаемых как 1_ОТВ и 2_ОТВ, и внутренний, служащий для хранения внутренних данных трубопровода и обозначаемый \$. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Тип_ГВТ^{*} - тип ГВТ, частью которого является данный МЭ: 1 - впускной ГВТ; -1 (минус единица) - выпускной ГВТ;

Тип_функции_трения^{*} - тип функции, используемой для определения коэф. трения: 1 - коэф. трения задается параметром **Козф_трения**; 2 - коэф. трения определяется для нестационарного течения; 3 - коэф. трения определяется для стационарного течения;

Тип_функции_теплоотдачи * - тип функции, используемой для определения коэф. теплоотдачи: 1 - коэф. теплоотдачи задается параметром **Коэф_теплоотдачи**;

Коэф_формы_сечения ** - коэф. формы поперечного сечения (зависит от формы поперечного сечения и типа местного сопротивления);

Эквив_равн_шероховатость ** - эквивалентная равномернозернистая абсолютная шероховатость, м;

Коэф_трения ** - коэф. трения при течении газа в трубопроводе;

Коэф_теплоотдачи ** - коэф. теплоотдачи в стенки при течении газа в трубопроводе;

Макс_возможн_температура * - максимально возможная температура газа в трубке, К. Рекомендуемые значения: для впускных трубопроводов - 350-500 К; для выпускных трубопроводов - 700-1200 К; для трубопроводов непосредственно за выпускными клапанами температура -1000-1400 К;

Начальное_давление * - начальное давление в трубопроводе, (5000 - 50000000), Па. Начальное давление рекомендуется задавать равной давлению окружающей среды;

Начальная_температура * - начальная температура в трубопроводе, (150 - 2500), К. Начальную температуру рекомендуется задавать равной температуре окружающей среды;

Газовая_постоянная * - газовая постоянная газа, протекающего через трубопровод, (200 - 350), Дж/(кг·К);

Показатель_адиабаты * - показатель адиабаты газа, протекающего по трубопроводу, (1 - 2);

Кинематическая_вязкость ** - кинематическая вязкость газа (для воздуха - $13,4 \cdot 10^{-6}$), м²/с. Параметр задается, если в МС **Тип_потерь_полного_давления** = 3;

Конструктивные параметры трубопровода:

Кол_задан_точек_геометрии * - количество заданных точек в массивах геометрических параметров трубы (минимальное количество - 2);

Длина - длина трубки (используется для трека, а значение заносится при тестировании модулей), м;

Длины * - массив длин трубопровода, м;

Площади ** - массив соответствующих площадей, м². Если площади равны нулю, то они автоматически вычисляются по массиву **Эквивалентный_диаметр**;

Эквивалентный_диаметр ** - массив эквивалентных диаметров, м. Если эквивалентные диаметры равны нулю, то они автоматически вычисляются по массиву **Площади**;

Температура_стенок ** - температура стенок трубы, К;

Координата_датчика ** - координата датчика, м. Если задана отрицательная величина, то это означает, что датчика нет;

Инвариант_Римана+_датчика - положительный инвариант Римана на датчике, м/с;

Инвариант Римана_ датчика - отрицательный инвариант Римана на датчике, м/с;

Приращение энтропии датчи - величина приращения энтропии на датчике;

Давление на датчике - статическое давление на датчике, Па;

Температура на датчике - температура на датчике, К;

Скорость потока на датчик - скорость потока на датчике, м/с. Положительное значение соответствует течению газа в направлении второго порта;

Число Маха на датчике - число Маха на датчике. Положительное значение соответствует течению газа в направлении второго порта;

Кратность шага - кратность временного шага расчёта в трубке к расчётному шагу в системе “Альбея”;

Количество расчет точек - количество расчётных узловых точек;

Ключ памяти - ключ выделения оперативной памяти для хранения текущих параметров газа в узловых точках;

Адрес области памяти - адрес области памяти для размещения текущих параметров газа в узловых точках.

Параметры газа в контрольных сечениях трубопровода, необходимые при сканировании:

ШКАЛА - длина трубопровода для трека, м;

Давление - давление газа, Па;

Инвариант Римана_ + - положительный инвариант Римана, м/с;

Инвариант Римана_ - - отрицательный инвариант Римана, м/с;

Температура - температура газа, К;

Скорость потока - скорость потока газа, м/с;

Число Маха - число Маха;

First и **Two** - параметры, необходимые для интерфейса.

3.6 Модуль элемент РЕСИВЕР

Модуль РЕСИВЕР предназначен для расчёта параметров газа в ёмкости переменного или постоянного объёма типа ресивер (воздушный фильтр, глушитель и т.д.). Он может быть связан с модулями типа ЦИЛИНДР, КАМЕРА, ТРУБКА, АТМОСФЕРА, а также с другим модулем РЕСИВЕР. При связывании его с модулями ЦИЛИНДР, КАМЕРА, АТМОСФЕРА или РЕСИВЕР автоматически генерируется МС типа ОКНО, а при связывании с модулем ТРУБКА генерируется МС типа КЛАПАН. Он имеет десять портов - девять входных/выходных, обозначенные как 1_ОТВ, 2_ОТВ,..., 9_ОТВ, имеют тип ОТВЕРСТИЕ. Десятый, внутренний порт служит для хранения внутренних данных и обозначается \$. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Тип_ГВТ* - тип ГВТ, частью которого является данный МЭ: 1 - впускной ГВТ; -1 (минус единица) - выпускной ГВТ;

Номер_цилиндра** - номер цилиндра от угла ПКВ которого зависит объём ресивера (не задаётся при **Кол_заданных_точек** = 1);

Закон интерполяции ** - закон интерполяции массива **Объем от угла ПКВ**: 1 - линейный; 2 - сплайновый (не задается при **Кол заданных точек** = 1);

Кол заданных точек * - количество заданных точек, определяющих зависимость объема ресивера от угла ПКВ. Если объем ресивера постоянен, то параметр задан равным 1 (одну точку);

Объем от угла ПКВ * - массив объемов ресивера при соответствующих углах ПКВ, заданных в массиве **Угол ПКВ**, м³. Если объем ресивера постоянен, то берётся первое значение этого массива;

Угол ПКВ ** - массив углов ПКВ для соответствующих объемов ресивера, заданных в массиве **Объем от угла ПКВ**, (0 - 720), град. ПКВ;

Кинематическая вязкость ** - кинематическая вязкость газа (для воздуха - $13,4 \cdot 10^{-6}$), м²/с. Параметр задается, если в МС **Тип потерь полного давления** = 3;

Давление * - давление газов в ресивере, (10000 - 3000000), Па;

Температура * - средняя температура газа в ресивере, (200-2000), К;

Объем - объем ресивера на текущем шаге, ($1 \cdot 10^{-6}$ - 1), м³;

Работа - работа газа в ресивере за период от начала цикла до текущего угла ПКВ, Дж;

Работа за цикл - работа газа за цикл, Дж;

Масса смеси - масса газовой смеси на текущем шаге расчета, кг;

Масса воздуха - масса воздуха на текущем расчетном шаге, кг;

Масса продуктов сгорания - масса пр.сг. в ресивере на текущем расчетном шаге, кг;

Резерв - резервный параметр (не используется);

Ключ расчета коэф ** - ключ расчёта коэф. для кубического сплайна: 0 - коэф. кубического сплайна вычисляются автоматически (предварительно изменить параметры **Площади клапана1** и задать **Закон интерполяции кл1** = 2); 1 - коэффициенты вычислены и занесены в **Коэф кубического спл кл1**;

Коэф кубического сплайна - рабочие массивы для сплайнов;

Длина ** - шкала изображения модуля на треке, м;

3.7 Модуль элемент ТРОЙНИК

Модуль ТРОЙНИК предназначен для расчёта одномерного нестационарного течения газа в разветвлении трех трубопроводов с учётом потерь полного давления. Он может быть связан только с модулем ТРУБКА, при этом автоматически генерируется МС СВЯЗЬ. Модуль имеет 4 порта - три порта, обозначаемые как 1_ОТВ, 2_ОТВ и 3_ОТВ; и внутренний, служащий для хранения внутренних данных тройника и обозначаемый \$. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Угол между 1 и 2 трубками ** - угол между первой и второй трубками (задается для расчёта потерь полного давления в зависимости от геометрии), (0 - 180), град.;

Угол_между_1_и_3-трубками ** - угол между первой и третьей трубками (задаётся для расчёта потерь полного давления в зависимости от геометрии), (0 - 180), град;

Тип_потерь_полного_давления * - тип потерь полного давления в тройнике: 1 - потери заданы **Коэф_сохр_пол_давл** для числа Маха = 1; 2 - потери заданы **Коэф_мест_пот_давл**; 4 - потери рассчитываются в зависимости от геометрии по формулам, приведенным в справочнике Идельчика И.Е. /8/ (необходимо задать **Угол_между_1_и_2_трубками** и **Угол_между_1_и_3-трубками**); 11 - потери постоянны и заданы **Коэф_сохр_пол_давл**;

Тип_расчета_сужения_сечения * - тип расчёта сужения струй: 1 - сужения задаются **Коэф_сужения_струи_N1_N2**; 2 - вычисление идет по формулам, приведенным Альтшулем А.Д. /7/; 4 - вычисление идет по формулам, приведенным в справочнике Идельчика И.Е. /8/;

Закон_открытия_сечения1 * - закон открытия площади в месте стыка с первой трубкой: 1 - площадь постоянна и равна площади трубки; 2 - площадь постоянна и задается параметром **Сечение1**; 3 - закон открытия площади задан в массиве **Закон_открытия_клапана** в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ (необходимо задать **Номер_глобал_массива1** и **Номер_цилиндра1**); 5 - открытием сечения управляет обратный клапан (необходимо задать **Направление_потока_кл1**, **Площадь_клапана1** и **Избыт_давл_площадь1**).

Примечание: первая, вторая, третья трубки - это модули ТРУБКА, связанные с первым, вторым, третьим портами модуля ТРОЙНИК соответственно.

Номер_глобал_массива1 ** - номер массива **Закон_открытия_клапана** в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, в котором описан закон изменения площади сечения первой трубки, (1, 2, 3 или 4);

Номер_цилиндра1 ** - номер цилиндра, по углу ПКВ которого ведется расчёт площадей сечения первой трубки, (1 - 8);

Сечение1 ** - площадь сечения первой трубы (задается, если **Закон_открытия_сечения1** = 1), (0,001 - 1), м²;

Коэф_сужения_струи_1_1 ** - коэф. сужения струи при втекании газа в тройник (разветвление) из первой трубки, (0 - 1);

Коэф_сужения_струи_1_2 ** - коэф. сужения струи при вытекании газа в первую трубку из тройника (разветвления), (0 - 1);

Коэф_сохр_пол_давл_1_2 ** - коэф. сохранения полного давления при течении газа из первой трубки во вторую, (0 - 1);

Коэф_сохр_пол_давл_1_3 ** - коэф. сохранения полного давления при течении газа из первой трубки в третью (0 - 1);

Коэф_мест_пот_давл_1_2 ** - коэф. местных потерь давления при течении газа из первой трубки во вторую;

Коэф_мест_пот_давл_1_3 ** - коэф. местных потерь давления при течении газа из первой трубки в третью;

Число Маха в сечении1 - число Маха в месте соединения с первой трубкой.

Примечание: 1. Здесь и далее для МЭ ТРОЙНИК коэф. местных потерь при задании и вычислении приводится к сечению той трубки, в которую втекает газ; 2. Здесь и далее для МЭ ТРОЙНИК число Маха имеет положительное значение при втекании газа в трубку.

Закон открытия сечения2^{*} - закон открытия площади второй трубки задается аналогично параметру **Закон открытия сечения1**;

Номер глобал массива2^{**} - номер массива **Закон открытия клапана** в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, в котором описан закон изменения площади сечения первой трубки, (1, 2, 3 или 4);

Номер цилиндра2^{**} - номер цилиндра, (1 - 8);

Сечение2^{**} - площадь второй трубы (задается, если **Закон открытия сечения2** = 1), (0,001 - 1), м²;

Коэф сужения струи 2_1^{**} - коэф. сужения струи при втекании из второй трубки в тройник (разветвление), (0 - 1);

Коэф сужения струи 2_2^{**} - коэф. сужения струи при вытекании газа из тройника (разветвления) во вторую трубку, (0 - 1);

Коэф сохр пол давл 2_3^{**} - коэф. сохранения полного давления при течении газа из второй трубки в третью, (0 - 1);

Коэф сохр пол давл 2_1^{**} - коэф. сохранения полного давления при течении газа из трубки второй в первую, (0 - 1);

Коэф мест пот давл 2_3^{**} - коэф. местных потерь давления при течении газа из второй трубки в третью;

Коэф мест пот давл 2_1^{**} - коэф. местных потерь давления при течении газа из второй трубки в трубку;

Число Маха в сечении2 - число Маха в месте соединения со второй трубкой;

Закон открытия сечения3^{*} - закон открытия площади третьей трубки;

Номер глобал массива3^{**} - номер массива **Закон открытия клапана** в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, в котором описан закон изменения площади сечения первой трубки, (1, 2, 3 или 4);

Номер цилиндра3^{**} - номер цилиндра, (1 - 8);

Сечение3 - площадь третьей трубы (задается, если **Закон открытия сечения1** = 1), (0,001 - 1), м²;

Коэф сужения струи 3_1^{**} - коэф. сужения струи при вытекании газа из третьей трубки в первую трубку, (0 - 1);

Коэф сужения струи 3_2^{**} - коэф. сужения струи при течении газа из третьей трубки во вторую трубку, (0 - 1);

Коэф сохр пол давл 3_1^{**} - коэф. сохранения полного давления при течении газа из третьей трубки в первую, (0 - 1);

Коэф_сохр_пол_давл_3_2^{**} - коэф. сохранения полного давления при течении газа из третьей трубки во вторую, (0 - 1);

Коэф_мест_пот_давл_3_1^{**} - коэф. местных потерь давления при течении газа из третьей трубки в первую;

Коэф_мест_пот_давл_3_2^{**} - коэф. местных потерь давления при течении газа из третьей трубки во вторую;

Число_Маха_в_сечении3 - число Маха в месте соединения с третьей трубкой.

Параметры лепесткового клапана для первой, второй и третьей трубки смотри ниже.

3.8 Модуль элемент ЩЕЛЬ

МЭ ЩЕЛЬ предназначен для расчёта одномерного нестационарного течения газа в трубопроводе с щелью (отверстием) в боковой стенке. Он может быть связан только с двумя модулями типа ТРУБКА и одним модулем типа РЕССИВЕР или АТМОСФЕРА, при этом автоматически генерируется МС СВЯЗЬ. Модуль имеет 4 порта: три порта, обозначенные как 1_ОТВ, 2_ОТВ и 3_ОТВ, и внутренний, служащий для хранения внутренних данных тройника и обозначаемый \$. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Признак_потерь^{*} - признак учитываемых потерь: 1 - потери заданы через коэффициенты, которые приведены ниже; -1 (минус один) - потери не учитываются;

Площадь_сечения_щели^{*} - площадь проходного сечения щели, м²;

Коэф_суж_струи_прит_мод^{*} - коэф. сужения струи, втекающей через щель внутрь трубопровода (приточное отверстие);

Коэф_суж_струи_выт_мод^{*} - коэф. сужения струи, вытекающей через щель из трубопровода (вытяжное отверстие);

Тип_ф_потерь_выт_модель_тр^{**} - тип потерь при вытекании газа через щель из обеих трубок;

Тип_ф_потерь_прит_модель_тр^{**} - тип потерь при втекании газа через щель в обе трубки;

Тип_ф_потерь_полувыт_мод_тр^{**} - тип потерь при вытекании газа через щель из одной трубки;

Тип_ф_потерь_полуприт_мод_тр^{**} - тип потерь при втекании газа через щель в одну из трубок;

К_сохран_выт_модель_тр^{**} - коэф. сохранения полного давления в трубках при течении газа из трубок через щель;

К_сохран_прит_модель_тр^{**} - коэф. сохранения полного давления в трубках при втекании газа в трубки через щель;

К_сохран_полувыт_модель_тр^{**} - коэф. сохранения полного давления в трубках при течении газа из одной трубки через щель;

К_сохран_полуприт_модель_тр^{**} - коэф. сохранения полного давления в трубках при втекании газа в одну из трубок через щель;

$K_{восст_п_давления_тр}$ - массив расчётных коэф. сохранения полного давления в трубках;

$Тип_ф_потерь_выт_модель_отв^{**}$ - тип функции потерь при течении газа из трубок через щель (не реализованно);

$Тип_ф_потерь_прит_модель_отв^{**}$ - тип функции потерь при втекании газа в трубки через щель (не реализованно);

$Тип_ф_потерь_полувыт_мод_отв^{**}$ - тип функции потерь при течении газа из одной трубки через щель (не реализованно);

$Тип_ф_потерь_полуприт_мод_отв^{**}$ - тип функции потерь при втекании газа в одну из трубок через щель (не реализованно);

$K_{восстан_выт_модель_отв^{**}}$ - коэф. сохранения полного давления в щели при течении газа из трубок через щель;

$K_{восстан_прит_модель_отв^{**}}$ - коэф. сохранения полного давления в щели при втекании газа в трубки через щель;

$K_{восстан_полувыт_модель_отв^{**}}$ - коэф. сохранения полного давления в щели при течении газа из одной трубки через щель;

$K_{восстан_полуприт_модель_отв^{**}}$ - коэф. сохранения полного давления в щели при втекании газа в одну из трубок через щель;

$K_{восст_п_давления_отв}$ - массив расчётных коэф. сохранения полного давления в щели.

3.9 Модуль связи ДИАФРАГМА, ОКНО, КЛАПАН

МС ДИАФРАГМА предназначен для расчёта нестационарного течения газа через местное сопротивление в трубопроводе на диафрагме, дросселе, заслонке, скачке сечения на стыке двух трубопроводов с учётом потерь полного давления газа в них. Он автоматически генерируется при связывании модуля ТРУБКА с другим модулем ТРУБКА.

МС ОКНО предназначен для расчёта стационарного течения газа через окно постоянной или переменной площади, находящейся между двумя емкостями с учетом потерь полного давления. Он автоматически генерируется при связывании между собой модулей типа РЕСИВЕР, КАМЕРА, АТМОСФЕРА, ЦИЛИНДР.

МС КЛАПАН предназначен для расчёта нестационарного течения газа через клапан (окно) постоянной или переменной площади, находящийся на границе какой-либо ёмкости и трубопровода, либо на границе трубопровода и атмосферы (или иной окружающей среды) с учётом потерь полного давления. Он автоматически генерируется при связывании модуля ТРУБКА с модулями типа ЦИЛИНДР, КАМЕРА, РЕСИВЕР или АТМОСФЕРА. При этом порт 2_ОТВ МС КЛАПАН всегда соединяется с модулем ТРУБКА.

МС ДИАФРАГМА, ОКНО, КЛАПАН имеет три порта - два входных, обозначенных как 1_ОТВ и 2_ОТВ, и внутренний, служащий для хранения внутренних данных и обозначаемый \$. Настройку входных портов МС на входные порты МЭ надо просматривать на экране сборки. Внутренний порт имеет следующую структуру:

Закон_открытия_сечения^{*} - закон открытия проходного сечения: 1 - площадь сечения постоянна и равна площади сечения примыкающей трубки (для МС ОКНО не используется); 2 - площадь сечения постоянна и задается параметром **Сечение**; 3 - закон открытия площади сечения задан массивом **Закон_открытия_клапана** в области КИНЕ- МАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ (необходимо задать **Номер_глобального_массива** и **Номер_цилиндра**); 4 - открытие окна управляется кромками поршня (необходимо задать **Номер_цилиндра** и геометрию окна); 5 - обратный лепестковый клапан (необходимо задать **Направление_потока_кл**, **Площадь_клапана** и **Избыток_давл_площадь**); 6 - открытие окна управляется обратным лепестковым клапаном и поршнем, совместно;

Тип_расчета_сужения_сечения^{*} - тип расчёта сужения струи: 1 - сужение струи постоянно (необходимо задать **Коэф_сужения_струи_1_2** и **Коэф_сужения_струи_2_1**); 2 - вычисление идет по формулам Альтшуля /7/; 3 - для истечения из трубы с диафрагмой вычисление проводится по формулам Альтшуля /7/, а для втекания из ёмкости в трубу используется заданный **Коэф_сужения_струи_2_1** (использовать только для МС КЛАПАН); 4 - вычисление проводится по формулам, приведенным в справочнике Идельчика И.Е. /8/; 5 - для истечения из трубы с диафрагмой, вычисление проводится по формулам, приведенным в справочнике Идельчика И.Е. /8/, а для втекания в трубу из ёмкости используется заданный **Коэф_сужения_струи_2_1** (использовать только для МС КЛАПАН);

Номер_глобального_массива^{**} - номер массива **Закон_открытия_клапана** в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, в котором описан закон изменения площади проходного сечения, (1, 2, 3 или 4);

Номер_цилиндра^{**} - номер цилиндра, от угла ПКВ которого зависит площадь окна или чей поршень управляет открытием окна, (1 - 8);

Тип_потерь_полного_давления^{*} - тип потерь полного давления: 1 - потери заданы **Коэф_сохр_пол_давл** при числе Маха равном единице; 2 - потери заданы **Коэф_мест_пот_давл**; 3 - потери заданы **Коэф_мест_пот_давл** для квадратичного режима и **Коэф_формы_сечения** для ламинарного режима (необходимо задать в МЭ параметр **Кинематическая_вязкость**); 4 - потери рассчитываются в зависимости от геометрии по формулам, приведенным в справочнике Идельчика И.Е. /8/ (нельзя использовать для МС ОКНО); 5 - потери рассчитываются в зависимости от геометрии местного сопротивления по формулам Альтшуля /7/ (нельзя использовать для МС ОКНО); 6 - потери рассчитываются для насадка Борда; 7 - потери при внезапном расширении (для МС ОКНО надо задать **Коэф_сужения_струи** меньше 1); 8 - потери рассчитываются для пластинчатого клапана (нельзя использовать для МС ОКНО и ДИАФ-РАГМА); 9 - потери на тарельчатом клапане (нельзя использовать для МС ДИАФРАГМА); 10 - потери при повороте потока, необходимо задать параметр **Коэф_мест_пот_давл** (нельзя использовать для МС ОКНО и КЛАПАН); 11 - потери заданы **Коэф_сохр_пол_давл**;

Сечение^{**} - площадь проходного сечения окна или клапана на текущем шаге расчета, м²;

Коэф_сужения_струи_1_2 ** - коэф. сужения струи при течении газа из первого порта во второй;

Коэф_сужения_струи_2_1 ** - коэф. сужения струи при течении газа из второго порта в первый;

Коэф_сохр_пол_давл_1_2 ** - коэф. сохранения полного давления при течении газа из первого порта во второй, (0 - 1);

Коэф_сохр_пол_давл_2_1 ** - коэф. сохранения полного давления при течении газа из второго порта в первый, (0 - 1);

Коэф_формы_сечения_1_2 ** - коэф. формы поперечного сечения при течении газа из первого порта во второй, (0 - 10000);

Коэф_мест_пот_давл_1_2 ** - коэф. местных потерь давления при течении газа из первого порта во второй;

Коэф_формы_сечения_2_1 ** - коэф. формы поперечного сечения при течении газа из второго порта в первый, (0 - 10000);

Коэф_мест_пот_давл_2_1 ** - коэф. местных потерь давления при течении газа из первого порта во второй;

Примечание: коэф. местных потерь давления задаётся и вычисляется для самого узкого сечения МС с учетом коэф. сужения струи.

Давление - давление на срезе окна или клапана, Па;

Число_Маха - число Маха в окне или клапане (имеет положительное значение при течении от первого порта во второй для МС ДИАФРАГМА и ОКНО, а для МС КЛАПАН при течении в трубу);

Массовый_расход_газа - массовый расход газа через сечение за период от начала цикла до текущего угла ПКВ (момента времени), кг;

Расход_газа_за_цикл - часовой расход газа через сечение за цикл, кг/ч;

Параметры обратного клапана смотри ниже.

Параметры конструкция окна смотри ниже.

Резерв - резервная область памяти (не используется);

Длина ** - шкала изображения модуля на треке.

3.10 Модуль связи СВЯЗЬ

МС СВЯЗЬ служит только для передачи параметров (никоим образом не преобразуя их) между портами модулей ТРОЙНИК и ТРУБКА. Он автоматически генерируется при связывании модуля ТРУБКА с модулем ТРОЙНИК. МС имеет два входных порта, обозначенные как 1_ОТВ и 2_ОТВ. Внутреннего порта - нет.

3.11 Обратный клапан

Параметры обратного клапана задаются при *Закон_открытия_сечения* = 5. Структура данных обратного клапана следующая:

Направление_потока * - направление движения потока газа: 1 - от первого порта ко второму; -1 (минус один) - от второго порта к первому;

Площадь_клапана * - площадь проходного сечения лепесткового клапана, м²;

Избыт_давл_откр_клапана * - массив избыточных давлений, при которых клапан открывается до сечений, заданных в массиве **Площадь_клапана**, Па. Параметры задаются по возрастающей.

Примечание: необходимо задавать все точки массива.

3.12 Геометрические параметры продувочных, впускных и выпускных окон в цилиндре двухтактного двигателя

Параметры впускных, продувочных и выпускных окон задаются при **Закон_открытия_сечения** = 4. Структура параметров расположения и геометрии окон следующая:

Площадь_сум_1_Брать_мин_2 ** - последовательность расположения окон: 1 - площади всех открываемых окон суммируются, т.е. имитируется их одновременное открытие; 2 - берется минимальная площадь из открытых окон, т.е. окна расположены последовательно друг за другом;

Тип_окна_1 ** - тип окна: 0 - окна нет; 1 - окно круглой формы; 2 - окно прямоугольной формы; 3 - окно трапецидальной формы с выступом вниз; 4 - окно сложной формы постоянного сечения (необходимо задать параметр **Площадь_окна_1** и все те параметры, которые помечены одним символом “*”);

Номер_поршня_для_ПДП_ок1 ** - параметр, имеющий смысл только для ДВС с ПДП, определяет каким поршнем открывается окно: 1 - окно в цилиндре открывается первым поршнем; 2 - окно в цилиндре открывается вторым поршнем; 0 - для остальных схем двигателя;

Открытие_кромкой_окно_1 ** - параметр определяет, какой кромкой поршня открывается окно: 1 - открывается верхней кромкой поршня, 2 - открывается нижней кромкой юбки поршня, 3 - открывается окном в поршне;

Количество_окон_1 * - количество окон заданного типа;

Расст_от_ВМТ_до_окна_1 ** - расстояние от мертвой точки до окна в стенке цилиндра (при **Открытие_кромкой_окно_1** = 1 - это расстояние от ВМТ до верхней кромки окна; при **Открытие_кромкой_окно_1** = 2 - это расстояние от нижней кромки юбки поршня при его положении в НМТ до нижней кромки окна; при **Открытие_кромкой_окно_1** = 3 - это расстояние от верхней кромки окна в поршне при его положении в НМТ до нижней кромки окна в стенке цилиндра);

Высота_1_окна_1 ** - высота окна, м;

Высота_2_окна_1 ** - вторая высота окна (задаётся только для окна трапецидальной формы при **Тип_окна_1** = 3), м;

Ширина_окна_1 ** - ширина окна, м;

Радиус_скруглений_окна_1 ** - радиус скруглений углов окон, м;

Угол_наклона_оси_окна_1 * - угол наклона окна к оси цилиндра;

Площадь_окна_1 ** - площадь окна сложной формы, м²;

4. Результаты моделирования ДВС

В основе имитационного моделирования лежит метод установления, особенностью которого является выход расчёта на *установившийся режим* после задания начальных условий. *Установившийся режим* это такой режим, при котором индикаторные параметры ДВС (расход воздуха, мощность и т.п.) и параметры газов в ГВТ при одинаковых углах ПКВ от цикла к циклу отличаются на незначительную величину (2-3%). В этом случае возможно усреднение параметров по результатам нескольких последних циклов, если эти колебания не являются характерными для рассчитываемых параметров ДВС. Оценивать работу двигателя нужно на *установившихся режимах расчёта* или на *переходных режимах* после изменения одного из параметров, а не по начальным циклам, когда возможно аномальное поведение двигателя. Для четырехтактных ДВС характерен сравнительно быстрый выход на режим (как правило, к третьему-четвертому циклу). Для двухтактных двигателей этот процесс более продолжительный и возможны значительные колебания мощности от цикла к циклу, что объясняется особенностями процессов газообмена в цилиндрах таких ДВС.

В практических расчетах ДВС могут встречаться случаи *неустановившегося режима работы*. Они характерны тем, что в течении большого количества циклов (50 и более) расчет не выходит на устойчивый режим, и не наблюдается какой-либо периодичности в изменении контролируемых параметров двигателя. *Неустановившиеся режимы* обусловлены, как правило, особенностями конструкции и размеров газозоообменного тракта рассчитываемого двигателя. Такие режимы наиболее характерны для многоцилиндровых ДВС со сложными впускными и выпускными системами. Оценивать их работу надо по усредненным параметрам нескольких последних циклов (5-10).

Результатами расчёта двигателей в системе “АЛЬБЕЯ” являются:

а) индикаторные цикловые показатели двигателя в целом и отдельных его цилиндров. Они находятся в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ и во внутренних портах МЭ ЦИЛИНДРЫ. Их можно вывести как в файл, так и на один из экранов системы “АЛЬБЕЯ”;

б) параметры газа по всему ГВТ двигателя. Их можно вывести как в файл, так и на один из экранов системы “АЛЬБЕЯ”. Газодинамические параметры двигателя могут использоваться для кинематических и динамических расчётов, для расчётов на прочность деталей ДВС, а также для определения сил трения и износа деталей и узлов;

в) характеристики тепловых потоков, проходящих за цикл через поверхность головки цилиндра, поршня, гильзы, а также распределение тепла по длине гильзы для каждого цилиндра. Эти данные могут быть использованы при расчёте системы охлаждения двигателя.

5. Методика задания входных данных

5.1 Подготовительный этап

Подготовительный этап состоит из следующих пунктов:

а) изучение сборочных чертежей двигателя и чертежей общего вида двигателя, ГВТ которого необходимо моделировать. На этом этапе составляется конструктивная схема ГВТ (пример показан на рис.1) и определяется, какими МЭ из набора имеющихся можно смоделировать каждый из элементов ГВТ ДВС;

б) составление расчетной блок-схемы ГВТ двигателя из набора имеющихся МЭ ГВТ, вычерчивание её на бумаге и проведение необходимых связей между МЭ (с определением типа МС);

в) подготовка входных данных, которые будут заноситься в область КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, характеризующие ДВС в целом (тип смесеобразования, компоновка ДВС, способ подачи топлива и т.п.), данные, характеризующие РК двигателя и остальные элементы ГВТ. Проводится геометрическое описание модулей. Снимаются размеры с чертежей узлов, соответствующих модулям блок-схемы ГВТ - диаметры, длины и т.д. Пересчитываются снятые размеры в величины, необходимые для задания начальных данных в модулях (например, пересчет диаметров в площади входных и выходных сечений трубопроводов, клапанов, окон, пересчет объёмов ресиверов и т.д.).

5.2 Этап задания данных в системе “АЛЬБЕЯ”

Этап задания данных состоит из следующих процедур:

а) набор подготовленной расчетной блок-схемы ГВТ на экране сборки системы “АЛЬБЕЯ”. Начинать набор блок-схемы ГВТ следует с расстановки модулей на экране сборки, выбирая их из списка шаблонов модулей. Набор блок-схемы можно вести в любой последовательности и начинать с любого элемента ГВТ, но рекомендуется начинать с впускной системы модуля АТМОСФЕРА и продолжать до конца выпускной системы в соответствии с движением газа по ГВТ двигателя;

б) проведение связей между модулями. Связь можно проводить начиная с любого модуля и в любой последовательности, но рекомендуется проводить связь, начиная с модуля АТМОСФЕРА, впускного ГВТ, и продолжать последовательно до конца выпускной системы в соответствии с движением газа. При проведении связей следует следить, чтобы впускной ГВТ соединялся с цилиндром двигателя через 1 и (или) 2 порты, а выпускной ГВТ - через 3 и (или) 4 порты;

в) задание входных данных. Установить исходные данные в области КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, относящиеся ко всему ДВС в целом. Задать исходные параметры в области глобальных данных управления системой. Пройти по всем МЭ и МС на экране сборки и занести в их внутренние порты начальные данные (помеченные в настоящем методическом пособии “*“ и при необходимо-

сти “**”) в соответствии с параметрами, определенными на этапе 5.1. При занесении данных в модули, описывающие сходственные элементы двигателя (например цилиндры и газообменные клапаны в многоцилиндровом ДВС) рекомендуется пользоваться макрокомандами для исключения многократного задания в ручную одних и тех же значений однотипных параметров;

г) проведение тестовой проверки исходных данных (для этого нажать клавишу “F4”). Обнаруженные ошибки входных данных, необходимо устранить;

д) сохранение данных (состояния системы) по окончании сборки структурной схемы модели двигателя, для чего нажать клавишу “F2” на экране сборки.

5.3 Этап отладки и запуска на расчет

Этап отладки и запуска на расчет включает в себя:

а) переход из экрана сборки в экран диалога (нажать “F10”);

б) инициализацию расчета (нажать клавишу “F7”);

в) моделирование (нажать клавишу “F9”);

г) исправление ошибок (при обнаружении ошибок, система выдаст сообщение пользователю об их характере и месте возникновения). Для исправления обнаруженных ошибок необходимо:

- восстановить исходное состояние на экране сборки. Для этого перейти в экран сборки (нажать клавишу “F6”) и затем восстановить исходное состояние (нажать клавишу “F3”);
- исправить выявленные ошибки (передвигаясь по модулям и меняя ошибочные значения параметров);
- сохранить исправленные данные (“F2”) и перейти к пункту а).

Ошибки могут быть двух типов:

а) ошибки в исходных входных данных (выход значения задаваемого параметра за допустимые пределы);

б) арифметическая ошибка в результате моделирования из-за ошибки в алгоритме программы или выхода одного из рассчитываемых параметров модулей за допустимые пределы (деление на 0, взятие логарифма от отрицательной величины и т.п.). Возникновение ошибки второго типа указывает на то, что заданы исходные параметры, значения которых входят в допустимые пределы, но в совокупности дают сбой в процессе расчета модулей. При возникновении ошибок данного типа необходимо проверить и скорректировать исходные данные, и, при необходимости, проконсультироваться с разработчиками системы “Альбея” на кафедре ДВС УГАТУ или со специалистами в области ДВС.

Список использованной литературы

1. Горбачев В.Г., Загайко С.А., Рудая Н.В., Рудой Б.П., Щербаков С.Б. Система имитационного моделирования “АЛБЕЯ” (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста. /Учебное пособие. Уфимск. госуд. авиац. техн. ун-т. - Уфа, 1995.
2. Рудой Б.П. Теория газообмена ДВС. /Учебное пособие. Уфимск. авиац. институт. - Уфа, 1978.
3. Рудой Б.П., Березин С.Р. Расчет на ЭВМ показателей газообмена ДВС. /Учебное пособие. Уфимск. авиац. институт. - Уфа, 1979г.
4. Рудой Б.П., Галиев Р.А., Даянов С.Б., Никитин Р.В., Рудая Н.В. Расчет характеристик двигателя внутреннего сгорания. / Учебное пособие. Уфимск. авиац. институт. - Уфа, 1986.
5. Рудой Б.П. Прикладная нестационарная гидрогазодинамика /Учебное пособие. Уфимск. авиац. институт. - Уфа, 1988.
6. Альтшуль А.Д. Примеры расчетов по гидравлике. - 1977.
7. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления.- М.: Недра, 1970.
8. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.- Л.: Госэнергоиздат, 1960.

Составители: ГУБАЙДУЛЛИН Ильдар Сафуанович
ЗАГАЙКО Сергей Андреевич
РУДАЯ Надежда Владимировна
РУДОЙ Борис Петрович
ХИСМАТУЛЛИН Камиль Амирович

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ В ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ <<АЛЬБЕЯ>>

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для бакалавров направления
552700 “Энергомашиностроение”

Редактор

Подписано к печати 30.06.95.

Формат 60x84 1/16.

Бумага оберточная. Печать плоская. Усл. печ. л. 1,0 Усл. кр.-отт. 0,9.

Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 100 экз. Заказ №

Бесплатно.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Уфимская типография № 2

45000, Уфа-центр. ул. К.Маркса, 12.