

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Институт компьютерных наук и технологий
Кафедра «Системы и технологии управления»

Работа допущена к защите
Заведующий кафедрой СТУ
_____ В.П. Шкодырев
«__» _____ 2016 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СПУСКАЕМЫМИ АППАРАТАМИ

направление 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника
профиль 09.03.01_07 – Интеллектуальные системы обработки информации и
управления

Выполнила студентка гр. 43503/3	<	>	А.В. Егорова
Научный руководитель д.т.н., проф.	<	>	А.Л. Куранов

Санкт-Петербург

2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
ГЛАВА 1. Обзор литературы.....	5
Глава 2. Применение данных по уравнению состояния воздуха в расчетах гиперзвукового обтекания в приближении плоской волны (одномерный случай).....	8
Глава 3. Сравнение результатов с другими источниками	18
Заключение	24
Список использованной литературы.....	25
Приложение 1	29
Приложение 2	47
Приложение 3	48
Приложение 5	50
Приложение 6	51
Приложение 7	52

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является проверка программного кода TGAS (NASA), который содержит расчет уравнения состояния воздуха при высоких температурах (до 10000 К). При спуске в атмосферу планеты из космического пространства тело движется ускоренно, вызывая ударно-волновые явления при входе в атмосферу и движении в ней, что сопровождается разогревом окружающей атмосферы и поверхности тела. Примером служат спускаемые аппараты. На скоростях до 30 М (1М равен скорости звука) при ударном нагреве газа возникают температуры 10000 К и выше.

Летательные аппараты изготавливаются из материалов, которые не могут выдерживать температуры выше 4000 К. Соответственно, происходит нагрев, испарение и унос материалов конструкций аппаратов. При входе в атмосферу под разным углом (угол атаки) обтекание облегчается или затрудняется, соответственно, разрушение конструкции аппарата будет различным. К тому же, при изменении траектории меняется и тормозящая сила, возможно отскакивание спускаемого аппарата от более плотных слоев со скачкообразным движением (глиссирование). Задача предсказания ударно-волновой структуры и нагрева актуальна для спускаемых аппаратов в атмосфере Земли, а также проектов освоения Марса и Титана. Наиболее распространена земная атмосфера, и отлично рассчитан в ней азот.

Исследуемый программный код NASA, позволяет рассчитать уравнение состояния воздуха в форме Клапейрона:

$$pV = ZRT,$$

где p – давление, Па;

V – молярный объем, м³/моль;

Z – параметр неидеальности газа;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура, К.

Для расчетов ударных волн удобно также учитывать удельное теплосодержание газа:

$$E = \frac{RT}{\gamma - 1},$$

где E – удельная внутренняя энергия, Дж/кг;

γ – показатель адиабаты, равен отношению теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме.

Была выбрана часть кода, позволяющая для заданных плотностей и удельных энергий получить набор: T , p , a (скорость звука), γ .

В приложениях 2-7 приведены участки расчетных данных, содержащих немонотонное изменение $T(E)$ и резкое уменьшение $Z(E)$ ниже 1, что при невысоких температурах и соответствующих плотностях при начальных условиях не может иметь место. Поэтому требуется верифицировать код на предмет наличия возможных ошибок и неточностей, а также получить диапазон применимости кода. Сравнение нужно осуществить с ранее опубликованным отчетом, в котором есть таблицы коэффициентов аппроксимации, во избежание ошибок оцифровки или распознавания текста программы, а также с более поздними данными, полученными на основе расчета потенциала взаимодействия частиц газа (вириальное уравнение состояния и др.).

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Обзор методов расчета уравнения состояния воздуха опубликован в [1]. Результаты Хильзенратха [2] рассчитаны по уравнению состояния в вириальной форме. Они охватывают весьма широкий интервал температур, но более узкий по сравнению с другими таблицами диапазон давлений. К тому же значения коэффициентов вязкости, теплопроводности и числа Прандтля для этих веществ представлены только при атмосферном давлении. Таблицы Дина [3], полученные обработкой экспериментальных данных, ввиду несовершенства этого метода и ограниченности использованных опытных данных при низких температурах неточны, и погрешность значений удельного объёма достигает 2 %.

Наиболее часто используемый способ составления таблиц термодинамических состояний — их расчёт по уравнению состояния, полученному на основании накопленных p, v, T – данных. До широкого внедрения вычислительных устройств в практику научных исследований, эффективно решить такую задачу позволили работы профессора Я.З. Казавчинского и его учеников. Казавчинский [4] предложил форму уравнения состояния реального газа, основанную на изучении конфигурации термодинамической поверхности. Он разработал оригинальный метод составления уравнений состояния, представленного через так называемые элементарные функции, зависящие от плотности и температуры. Это позволило аппроксимировать опытные p, v, T – данные в широкой области параметров с высокой точностью и, как следствие, обеспечить точность рассчитываемых значений калорических свойств.

К особой группе относятся работы московских учёных, опубликованные в 1957 – 1962 гг. Они посвящены расчёту термодинамических состояний воздуха при весьма высоких температурах в идеально – газовом приближении, но с учётом диссоциации и ионизации его компонентов. А.С. Предводителей и сотрудники опубликовали таблицы

термодинамических состояний воздуха, содержащие значения плотности, энтальпии, внутренней энергии, энтропии, теплоёмкостей при постоянном объеме и давлении, показателя адиабаты и скорости звука для интервалов температур 6000 – 20000 К и давлениях 0,001 – 1000 атм. [5,6] и 200 – 6000 К и 0,00001–100 атм. [7].

Л.В. Гурвич и соавторы [8] рассчитали термодинамические состояния многих индивидуальных веществ в идеально-газовом приближении при температурах до 6000 К. Аналогичные работы, например, [9], появились за рубежом, что было обусловлено потребностями развития космической техники.

В конце рассматриваемого этапа исследований выполнены расчёты свойств воздуха и его компонентов при высоких температурах и давлениях как реальных газов. А.С. Бестужев [10] определил термодинамические состояния и параметры переноса диссоциированных азота, кислорода и воздуха при температурах 1000 – 6000 К и давлениях 0,01 – 100 МПа. Он применил метод Кессельмана [11], основанный на использовании потенциала межмолекулярного взаимодействия Леннард – Джонса с параметрами, зависящими от температуры. Рассчитанные Бестужевым значения удельного объёма, энтальпии и энтропии азота и кислорода, а также значения скорости звука и показателя адиабаты для воздуха приведены в справочнике [12].

В [13] Зубаревым описан метод составления теоретически обоснованного уравнения состояния и уравнений для свойств переноса, опираясь, как ранее Бестужев, на потенциал Леннард – Джонса, но полагая его параметры постоянными. Эти параметры определялись путем компьютерных вычислений по данным о коэффициенте сжимаемости, вязкости и теплопроводности. В монографии [13] приведены таблицы свойств двенадцати газов, в том числе воздуха и его компонентов, при высоких температурах и давлениях. Таблицы содержат примерно тот же набор термодинамических состояний, что и таблицы [14–17], и значения динамической вязкости, теплопроводности и числа Прандтля.

В.И. Недоступ, Е.П. Галькевич и Е.С.Каминский [18] с помощью разработанного ими метода идеальных кривых составили уравнения состояния для группы технически важных газов, включающей азот, кислород и аргон. Эти уравнения состояния содержат небольшое число коэффициентов, найденных по опытным данным для высоких давлений, и благодаря рациональной форме позволяют проводить широкую экстраполяцию в область параметров, не исследованную экспериментально. По уравнениям рассчитаны значения термодинамических состояний, включая энергию Гельмгольца F , при экстремальных значениях параметров (1000 – 20000 К и 100 – 40000 МПа). Данные [18] полезны для решения геофизических и астрофизических проблем и изучения ударно-волновых процессов.

Активно работали в указанном направлении Стюарт и Джекобсен в университете штата Айдахо (США) и Вагнер в Рурском университете (Германия). Результаты их исследований использованы при подготовке международных таблиц термодинамических состояний азота и кислорода [19, 20]. Но, несмотря на указанные публикации, зарубежные учёные продолжили составление уточнённых уравнений состояния и таблиц. В данной работе будут для сравнения использованы результаты Хильзенратха [21] и Гилмора [22], поскольку на них ссылаются современные авторы, такие, как Крайко [23] и [24].

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ПО УРАВНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА В РАСЧЕТАХ ГИПЕРЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ (ОДНОМЕРНЫЙ СЛУЧАЙ)

Для оценки параметров воздуха в ударном слое перед закругленной носовой частью летательного аппарата (ЛА) при произвольной скорости на произвольной высоте следует выбрать соответствующие значения параметров невозмущенного воздуха и подставить их в систему уравнений условий на разрыве для плоской нормальной ударной волны:

$$\rho_1 u_1 = \rho_2 u_2, \quad (2.1)$$

$$\rho_1 + \rho_1 u_1^2 = \rho_2 + \rho_2 u_2^2, \quad (2.2)$$

$$\frac{u_1^2}{2} + i_1 = \frac{u_2^2}{2} + i_2, \quad (2.3)$$

где ρ – плотность, кг/м³

u – скорость вещества по отношению к поверхности разрыва (ударной волне), м/с;

i – энтальпия, кДж.

Равенство (2.1) является условием неразрывности, (2,2) – законом сохранения количества движения и (2,3) – законом сохранения энергии.

Авторами [25], например, были получены решения этой системы уравнений для рассматриваемой нами задачи. Они брали параметры атмосферы перед ударной волной из [26] для значений высоты, протабулированных, начиная с 11 км и выше, через несколько единиц или десятков км, затем задавали температуру за фронтом ударной волны с шагом в 200 К, но в интересующем нас диапазоне $M \leq 6$ (ниже 2200 К) этот шаг составляет 400 К, к тому же, значения высоты выбраны с недостаточным для нашей задачи разрешением. Метод решения, реализованный авторами [25], заключается в простом компьютерном переборе условий, совпадающих с табличными значениями равновесных параметров ударно сжатого и

нагретого воздуха, взятыми авторами из работ [22, 27–29]. Поэтому, во-первых, набор сведений о значениях параметров воздуха в ударных волнах для целей данной работы недостаточен, и, во-вторых, способ решения этой задачи может быть упрощен, а именно, он состоит в отыскании корня квадратного уравнения ударной адиабаты. Это и сделано в данной работе.

Условия (2.1) – (2.3) можно переписать в виде:

$$u_2 - u_1 = \sqrt{(p_2 - p_1)(\eta_1 - \eta_2)}, \quad (2.4)$$

$$D - u_1 = \eta_1 \sqrt{\frac{(p_2 - p_1)}{(\eta_1 - \eta_2)}}, \quad (2.5)$$

$$E_2 - E_1 = \frac{p_2 + p_1}{2} (\eta_1 - \eta_2), \quad (2.6)$$

где D – скорость распространения ударной волны, м/с;

$\eta = \frac{1}{\rho}$ – удельный объем газа, м³/кг.

Начальные условия для геопотенциальных высот полета 0–30 км взяты из более современных по сравнению с [26] таблиц [30]. Для исследования влияния температуры приземного слоя в данные начальной температуры вносились коррективы, составляющие величину 3,5 К на километр вплоть до 11 км, что дает температуру на поверхности Земли +53 °С (эта величина принята за максимальный нагрев), при этом плотность воздуха пересчитывалась, исходя из новой температуры в изобарическом приближении для фиксированной высоты. Это позволяет оценить влияние состояния приземного слоя на ударный нагрев воздуха, чего вообще не было сделано в [25].

Далее приводятся графики зависимостей начальных атмосферных условий от высоты полета.

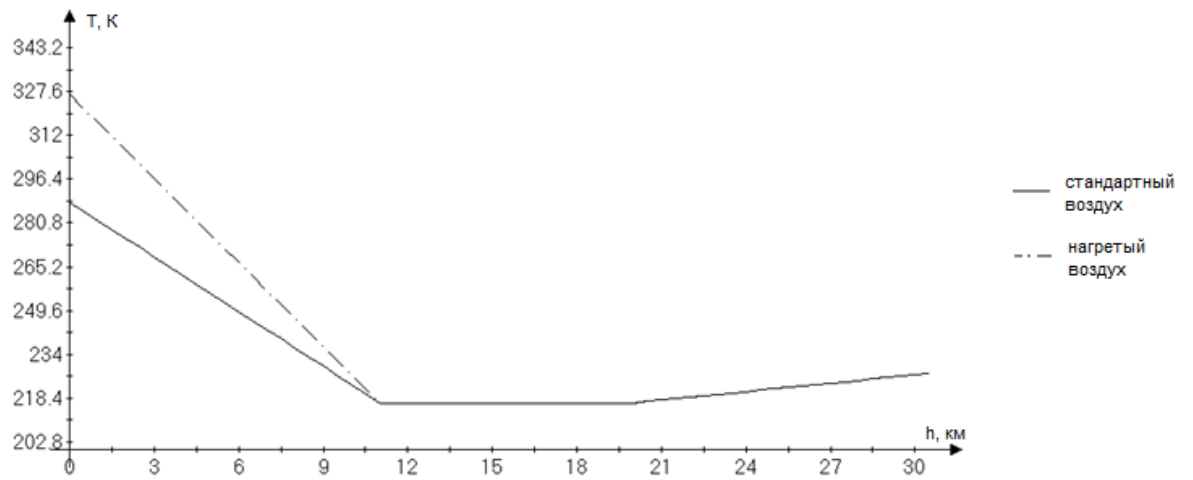


Рисунок 2.1 Зависимость исходной температуры воздуха от высоты

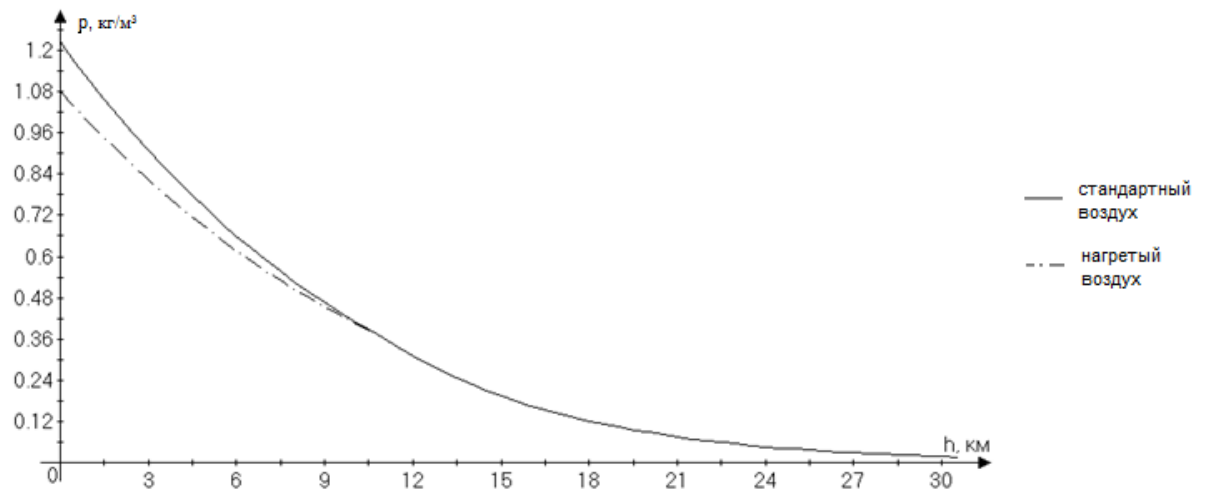


Рисунок 2.2 Зависимость исходной плотности воздуха от высоты

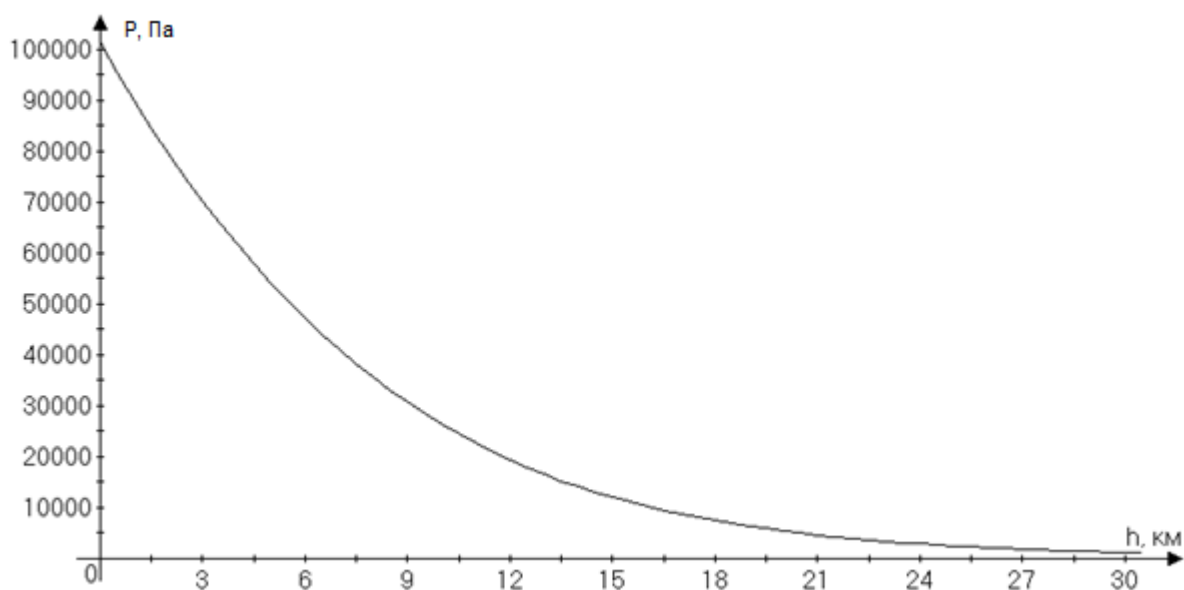


Рисунок 2.3 Зависимость исходного давления воздуха от высоты

Уравнение состояния воздуха аппроксимируется уравнением состояния идеального газа:

$$E = \frac{p\eta}{\gamma-1}, \quad (2.7)$$

Уравнения (2.4)-(2.7) можно переписать в виде:

$$\frac{p_2\eta_2}{\gamma_2-1} - \frac{p_1\eta_1}{\gamma_1-1} = \frac{p_2+p_1}{2} (\eta_1 - \eta_2),$$

$$p_2 = p_1 + \frac{(u_2-u_1)^2}{(\eta_1-\eta_2)},$$

После чего можно записать квадратное уравнение ударной адиабаты воздуха для неизвестной величины удельного объема η_2 :

$$-p_1\eta_2^2 \left(\frac{1}{\gamma_2-1} \right) + \eta_2 \left[p_1\eta_1 \left(\frac{1}{\gamma_2-1} + \frac{1}{\gamma_1-1} + 2 \right) + (u_2 - u_1)^2 \left(\frac{1}{\gamma_2-1} + \frac{1}{2} \right) \right] -$$

$$- \eta_1 \left[p_1\eta_1 \left(\frac{1}{\gamma_1-1} + 1 \right) + \frac{(u_2-u_1)^2}{2} \right] = 0, \quad (2.8)$$

Для того чтобы решить уравнение (2.8) при заданных начальных параметрах среды перед ударной волной (УВ) и заданном значении разности

скоростей вещества перед и за УВ $u_2 - u_1$, требуется установить значение показателя γ_2 , который заранее неизвестен. Вместе с тем, известно, например, что он зависит монотонно от удельной энергии и удельного объема, изменяясь на интересующем нас участке в незначительных пределах. Тогда можно отыскать приближенное решение (2.8) и уточнить его методом итераций, задав $\gamma_2(1) = \gamma_1$, и получая последовательно новые значения $\gamma_2(n) = \gamma_2(n - 1)$, которые берутся из таблиц для значений энергии и удельного объема, уточняемых при очередной итерации. Вычисления можно еще упростить, если аппроксимировать табличные данные для показателя адиабаты с помощью аналитически задаваемых формул. Это было успешно проделано авторами [31], аппроксимировавшими перегибы графиков с помощью семейства экспоненциальных функций, типа функции Ферми-Дирака из квантовой механики:

$$\frac{1}{1 + \exp(kx)}$$

Применив специализированные формулы, имеющие общий вид:

$$z(x, y) = f_1(x, y) + \frac{f_2(x, y) - f_1(x, y)}{1 + \exp(k_0 + k_1x + k_2y + k_3xy)},$$

где, в общем случае:

$$f(x, y) = p_1 + p_2x + p_3y + p_4xy + p_5x^2 + p_6y^2 + p_7x^2y + p_8xy^2 + p_9x^3 + p_{10}y^3$$

В частности, для аппроксимации показателя адиабаты воздуха применяется следующее равенство:

$$\gamma = a_1 + a_2Y + a_3Z + a_4YZ + a_5Y^2 + a_6Z^2 + a_7Y^2Z + a_8YZ^2 + a_9Y^3 + a_{10}Z^3 + (a_{11} + a_{12}Y + a_{13}Z + a_{14}YZ + a_{15}Y^2 + a_{16}Z^2 + a_{17}Y^2Z + a_{18}YZ^2 + a_{19}Y^3 + a_{20}Z^3) / [1 \pm \exp(a_{21} + a_{22}Y + a_{23}Z + a_{24}YZ)], \quad (2.9)$$

где $Y = \log_{10} \frac{\rho}{\rho_0}$;

$$Z = \log_{10} \frac{e}{RT_0};$$

ρ_0, e – параметры воздуха при нулевых начальных условиях;

a_1 - a_{24} – коэффициенты аппроксимации.

Наборы коэффициентов a_1 - a_{24} и знаков перед экспонентой берутся из работы [32] тех же авторов в виде таблиц для следующих интервалов:

$-7.0 \leq Y \leq -4.5$; $Z \leq 0.65$; $0.65 < Z \leq 1.50$; $1.50 < Z \leq 2.20$; $2.20 < Z \leq 3.05$; $3.05 < Z \leq 3.40$; $3.40 < Z$;

$-4.5 < Y \leq -0.5$; $Z \leq 0.65$; $0.65 < Z \leq 1.50$; $1.50 < Z \leq 2.22$; $2.22 < Z \leq 2.95$; $2.95 < Z$;

$-0.5 < Y \leq 3.0$; $Z \leq 0.65$; $0.65 < Z \leq 1.70$; $1.70 < Z \leq 2.35$; $2.35 < Z$.

Поскольку разность скоростей $u_2 - u_1$, входит в (2.8) в виде квадрата, следует вывод, что с помощью этого уравнения математически возможно описывать случаи как торможения, так и ускорения потока. Большой из корней квадратного уравнения характеризует течение газа в ударной волне разрежения, которой физически не может существовать, поэтому искомое значение удельного объема точно равно меньшему корню уравнения:

$$\eta_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где $a = -p_1 \left(\frac{1}{\gamma_2 - 1} + 1 \right)$;

$$b = \left[p_1 \eta_1 \left(\frac{1}{\gamma_2 - 1} + \frac{1}{\gamma_1 - 1} + 2 \right) + (u_2 - u_1)^2 \left(\frac{1}{\gamma_2 - 1} + \frac{1}{2} \right) \right];$$

$$c = -\eta_1 \left[p_1 \eta_1 \left(\frac{1}{\gamma_1 - 1} + 1 \right) + \frac{(u_2 - u_1)^2}{2} \right].$$

Вычисления были проведены по данному методу. Значения $u_2 - u_1$ задавались от 900 до 7000 м/с, что соответствовало числам Маха от 2.6 до 20. Скорость звука вычислялась по нижеприведенной формуле с помощью выражений для частных производных, подобных (1.9), с коэффициентами, взятыми из [32]:

$$a(e, \rho) = \left(e \left\{ (\tilde{\gamma} - 1) \left[\tilde{\gamma} + \left(\frac{\partial \tilde{\gamma}}{\partial \ln e} \right)_{\rho} \right] + \left(\frac{\partial \tilde{\gamma}}{\partial \ln \rho} \right)_{e} \right\} \right)^{1/2}$$

В диапазоне полетных условий были реализованы температуры от 900 до 10500 К. Сравнение «горячего» и «холодного» приземного слоев показывает, что число Маха «подстраивается» под условия начальной температуры, и при постоянном числе Маха разброс значений ударных температур подобен таковому для начальных условий перед УВ.

Результаты расчетов представлены на графиках (см. рис. 2.4 – 2.11):

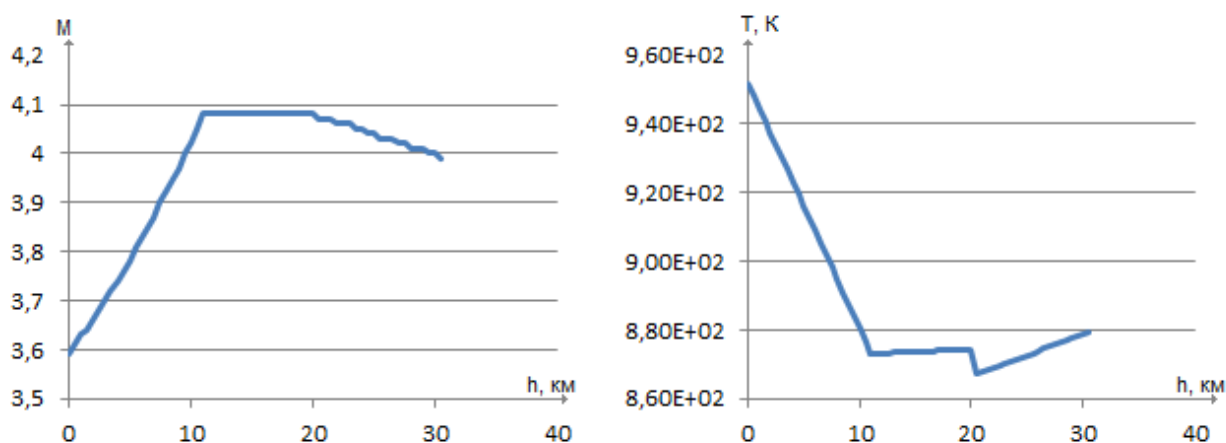


Рисунок 2.4 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 900 м/с

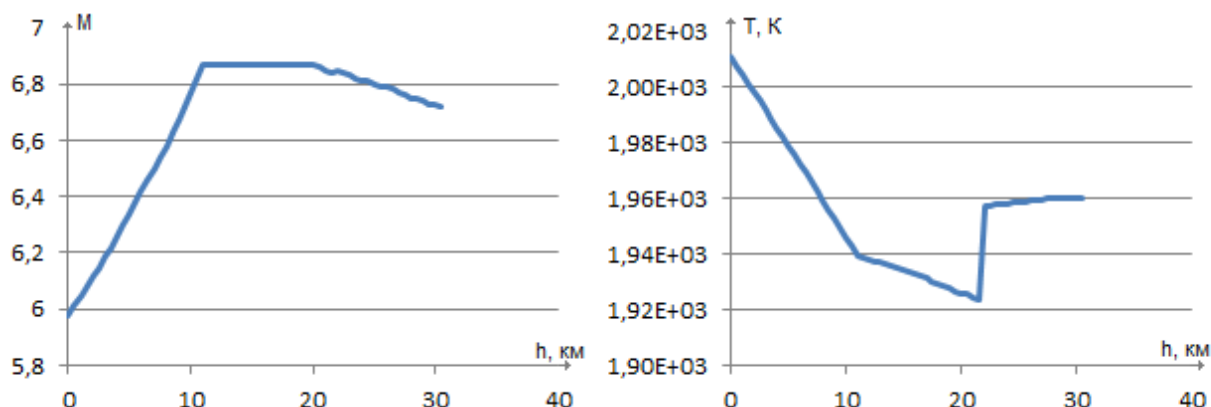


Рисунок 2.5 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 1700 м/с

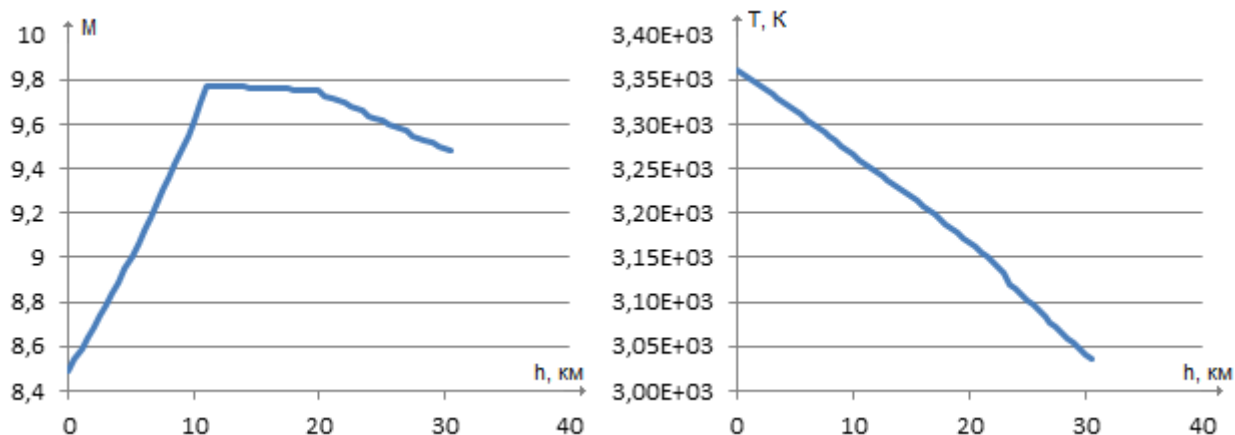


Рисунок 2.6 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 2700 м/с

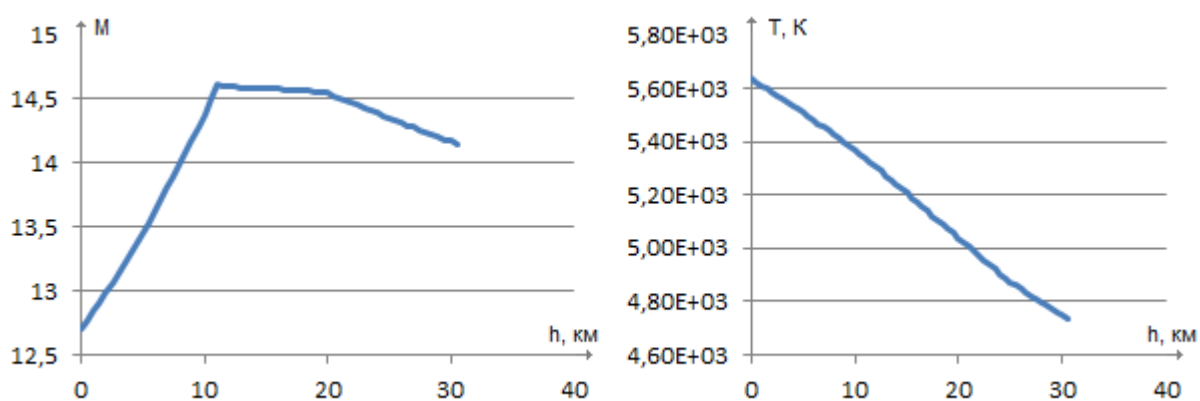


Рисунок 2.7 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 3800 м/с

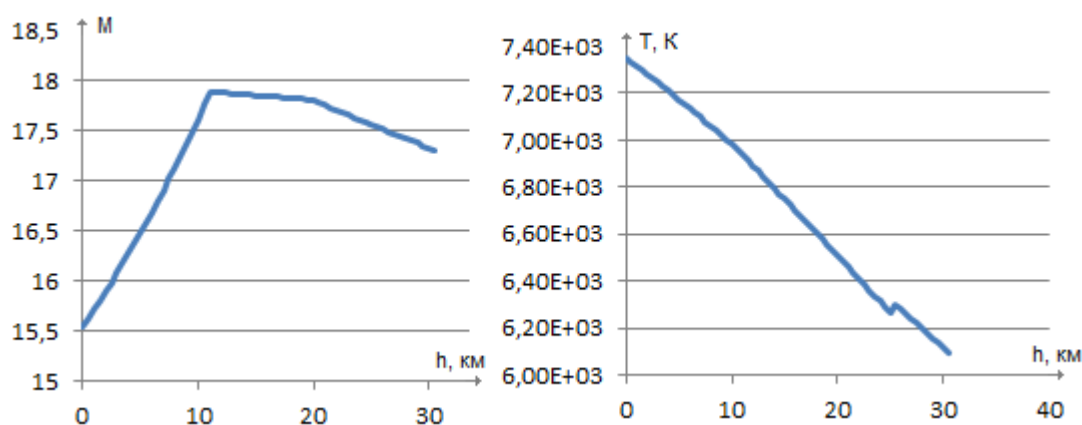


Рисунок 2.8 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 4700 м/с

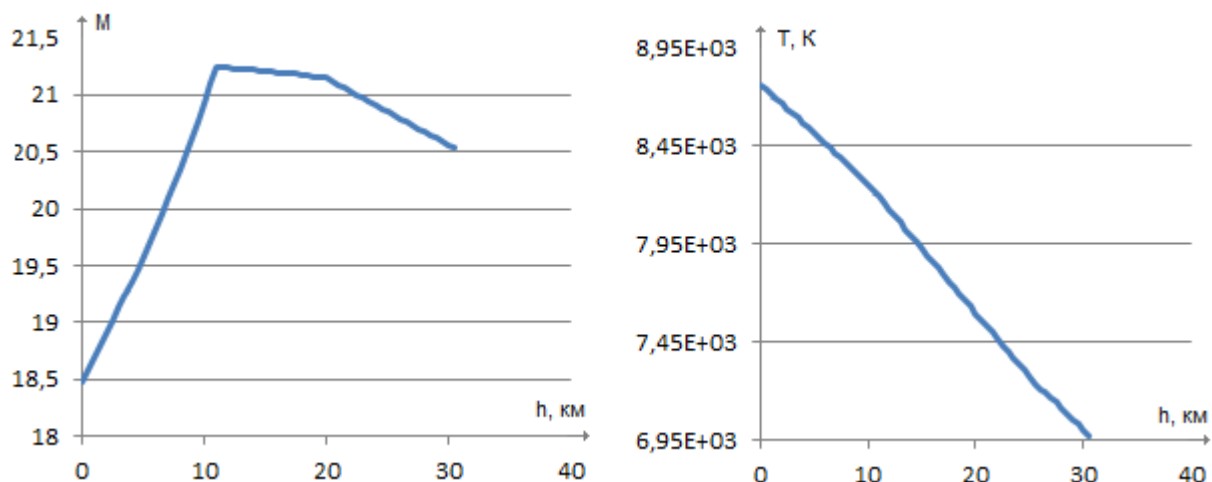


Рисунок 2.9 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 5700 м/с

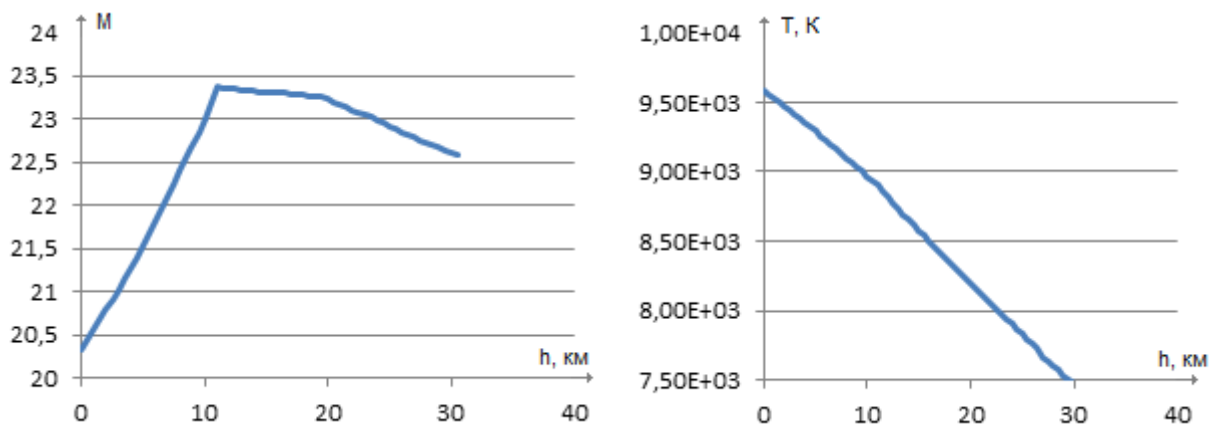


Рисунок 2.10 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 6300 м/с

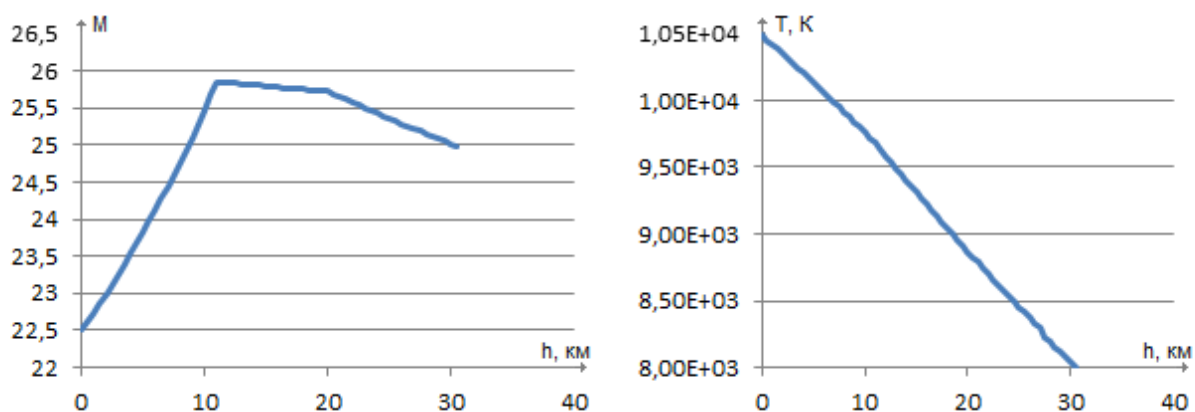


Рисунок 2.11 – Зависимость числа Маха от высоты (слева) и температуры от высоты (справа) относительно скорости аппарата равной 7000 м/с

Результаты расчетов показывают, что на высоких скоростях полета спускаемого аппарата для величины разброса чисел Маха порядка 1, ударная температура может колебаться в пределах 2000 К, поэтому приблизительные формулы для оценки ударных температур непригодны. Также следует учитывать изменение показателя ударной адиабаты при ударном нагреве воздуха на высотах от 30 км и более. В таблице 2 представлены результаты оценок свойств ударно нагретого газа для высот порядка 80 км.

Таблица 2

Скачок давления и ударная температура на 80 км

Число Маха (М)	Отношение давления в УВ к забортному давлению (P_2/P_1)	Т, К
4	18	800
10	120	2600
15	285	4200
21	600	5500
25	830	6000
28	1060	6500

Как видно из результатов оценки, наибольшие ударные температуры отмечаются на низких высотах, что связано с атмосферными условиями.

ГЛАВА 3. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С ДРУГИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Результаты расчетов показали, что для скоростей порядка 30 М достижимы температуры 10000 К. Таким образом, применение уравнения состояния воздуха в виде функций позволит реализовать расчет состояния ударно нагретого газа с высокой точностью, что важно для управления летательными аппаратами. Этот же метод позволит выбирать такую траекторию спуска, при которой нагрев можно будет минимизировать.

В результате расчетов обнаружилось расхождение термодинамических параметров воздуха при температурах 7000 – 10000 К с данными из [21, 22].

Первым этапом было сравнение коэффициентов аппроксимации из таблиц [32] с содержимым компьютерного кода. При их сопоставлении была выявлена одна ошибка. Результаты работы после исправления ошибки представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Результаты работы программы

Плотность (ρ), кг/м ³	Удельная энергия (e), Дж/кг	Давление (p), Па	Температура (T), К	γ
1	100000	3990	140	1.3988
1	1000000	36800	1271	1.3681
0.1	10000000	190000	5546	1.199
0.1	30000000	420000	8228	1.139

В выбранном диапазоне давлений и плотностей, характеризующих полет спускаемых аппаратов в земной атмосфере, исправление ошибки существенно не изменило значения выходных данных программы вплоть до 4 знака после запятой.

Следующим этапом было сравнение программных данных с графиками Гилмора [22], зависимость вида $\gamma(\rho, T)$. Сравнение проводилось при температурах до 1 эВ (11600К). Результаты представлены в табл. 3.2 – 3.4.

Таблица 3.2

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 1.292$ кг/м³

Удельная энергия (e), Дж/кг	Давление (p), Па	Температура (T), К	$\gamma - 1$	Z
4 300 000	1 435 201	3.6685771477E+03	2.5833413252E-01	1.0548351131E+00
6 300 000	1 871 910	4.5193809263E+03	2.2997566290E-01	1.1168001614E+00
9 300 000	2 621 039	5.8565293610E+03	2.1813632356E-01	1.2067091353E+00
12 300 000	3 237 801	6.8189599374E+03	2.0374291694E-01	1.2802697368E+00
19 300 000	4 377 251	8.1428102108E+03	1.7554222674E-01	1.4494278008E+00
27 300 000	5 662 599	9.2490862179E+03	1.6054272736E-01	1.6507695276E+00
34 300 000	6 971 121	1.0307529735E+04	1.5730626341E-01	1.8235493730E+00
40 300 000	8 295 135	1.1554483253E+04	1.5931471257E-01	1.9357193465E+00

Таблица 3.3

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 0,1292$ кг/м³

Удельная энергия (e), Дж/кг	Давление (p), Па	Температура (T), К	$\gamma - 1$	Z
4 200 000	132 966	3.3486665553E+03	2.4503599600E-01	1.0706296353E+00
7 200 000	195 201	4.4792842722E+03	2.0983951309E-01	1.1750142365E+00
11 200 000	280 512	5.9283605291E+03	1.9385219243E-01	1.2758103479E+00
18 200 000	379 662	6.9975014982E+03	1.6145931088E-01	1.4629297440E+00
28 200 000	520 716	8.1209675795E+03	1.4291875436E-01	1.7288708090E+00
38 200 000	706 638	9.1157827012E+03	1.4317624426E-01	2.0901254453E+00
44 200 000	856 032	1.0488138553E+04	1.4990131494E-01	2.2007022298E+00
50 200 000	991 855	1.1564169746E+04	1.5292615121E-01	2.3126132275E+00

Таблица 3.4

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 0,01292$ кг/м³

Удельная энергия (e), Дж/кг	Давление (p), Па	Температура (Т), К	$\gamma - 1$	Z
3 300 000	11 022	2.8191404307E+03	2.5852319463E-01	1.0542138835E+00
5 300 000	14 188	3.3555457217E+03	2.0719864523E-01	1.1400702366E+00
8 300 000	21 089	4.6282731704E+03	1.9666387097E-01	1.2286146206E+00
14 300 000	29 973	5.8362722750E+03	1.6223019605E-01	1.3847270421E+00
26 300 000	43 950	6.9096002042E+03	1.2934268920E-01	1.7150496724E+00
40 300 000	70 097	8.1549720181E+03	1.3462660416E-01	2.3176371824E+00
47 300 000	84 521	9.2052043915E+03	1.3830547089E-01	2.4757059018E+00
<i>56 300 000</i>	<i>100 695</i>	<i>1.0151065552E+04</i>	<i>1.3843224803E-01</i>	<i>2.6746442271E+00</i>

Отмеченные курсивом данные расходятся с источником в среднем не более чем на 2%. Программа дает сбой лишь при низких температурах (до 2000 К), который заключается в резком скачке параметра Z для плотностей 0,1292 кг/м³ и 0,01292 кг/м³ в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 0,1292$ кг/м³ и 0,01292 кг/м³.

ρ/ρ_0	Удельная энергия (e), Дж/кг	Давление (p), Па	Температура (Т), К	$\gamma - 1$	Z
0,01	360 000	1 855	7.0535207074E+02	3.9884060507E-01	7.0913334793E-01
0,01	460 000	2 344	1.0211585685E+03	3.9446050184E-01	6.1901355088E-01
0,01	560 000	2 816	1.3695547933E+03	3.8924986017E-01	5.5445852789E-01
0,1	360 000	18 568	5.9147236691E+02	3.9921417397E-01	8.4645910556E-01
0,1	460 000	23 471	7.9734037045E+02	3.9492095910E-01	7.9369975957E-01
0,1	560 000	28 191	1.0117762239E+03	3.8964066483E-01	7.5127652849E-01

Графическое представление результатов сравнения представлено на рис.3.1:

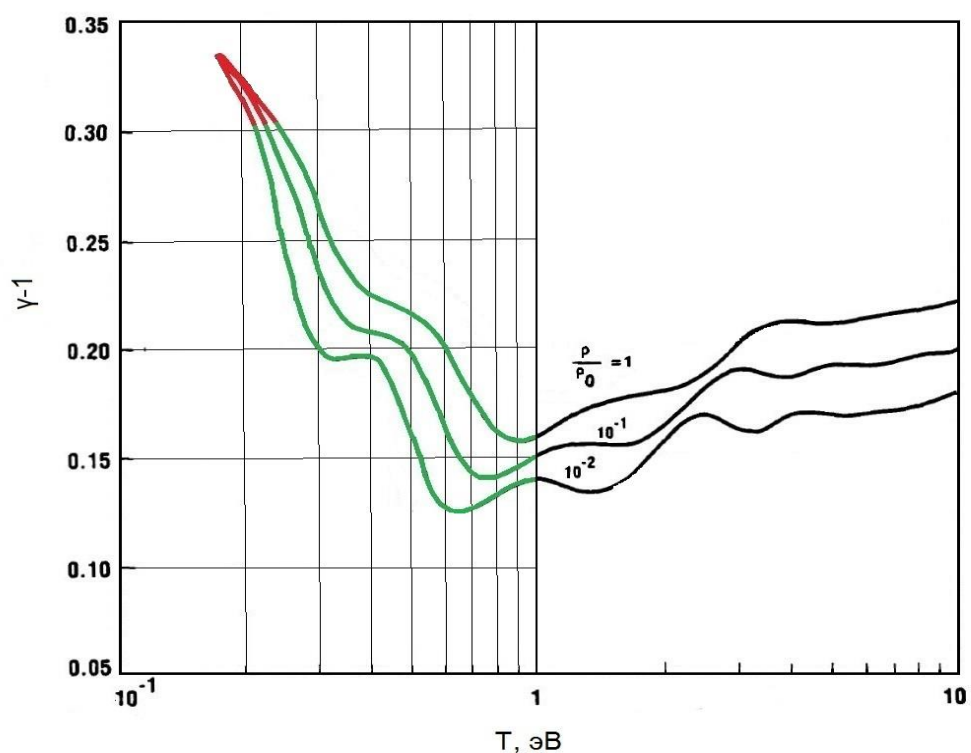


Рисунок 3.1 - Зависимость $\gamma-1$ от T

Последним шагом было сравнение выходных данных исследуемого кода с графиками Хильзенратха [21], зависимость вида $Z(\rho, T)$.

Таблица 3.6

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 1,292$ кг/м³

Удельная энергия (e), Дж/кг	Температура (T), К	Z
1 724 000	2.0003993983E+03	1.0096035066E+00
2 991 000	3.0005561209E+03	1.0186238448E+00
5 084 000	4.0007308107E+03	1.0801462185E+00
7 370 000	5.0009277773E+03	1.1491827133E+00
9 680 000	6.0001649060E+03	1.2166481796E+00
13 050 000	7.0002306075E+03	1.2993745482E+00
18 390 000	8.0006359210E+03	1.4277741739E+00
25 397 000	9.0007793663E+03	1.6003473199E+00
32 703 800	1.0000127566E+04	1.7936218209E+00

Таблица 3.7

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 0,1292$ кг/м³

Удельная энергия (e), Дж/кг	Температура (Т), К	Z
3 268 000	3.0006940291E+03	1.0381158906E+00
6 116 000	4.0000549128E+03	1.1430713587E+00
8 329 000	5.0005927630E+03	1.2085745144E+00
11 515 000	6.0006014386E+03	1.2835077542E+00
<i>18 230 000</i>	<i>7.0009039329E+03</i>	<i>1.4637559984E+00</i>
<i>27 240 000</i>	<i>8.0001036549E+03</i>	<i>1.7050110395E+00</i>
37 740 000	9.0000139945E+03	2.0813305475E+00
42 200 000	1.0069249833E+04	2.1634477685E+00

Таблица 3.8

Параметры воздуха при $\rho/\rho_0 = 0,01292$ кг/м³

Удельная энергия (e), Дж/кг	Температура (Т), К	Z
3 920 000	3.0002800278E+03	1.0783769301E+00
6 898 000	4.0003757960E+03	1.1888234252E+00
9 499 000	5.0000338741E+03	1.2597885091E+00
15 830 000	6.0000780963E+03	1.4276525845E+00
27 239 000	7.0000632636E+03	1.7404395816E+00
39 500 000	8.0000939062E+03	2.2980609979E+00
45 725 000	9.0000300769E+03	2.4402738666E+00
55 300 000	1.0061033703E+04	2.6528638266E+00

Отмеченные курсивом данные расходятся с источником в среднем не более чем на 2%. Отмеченные жирным курсивом данные расходятся существенно и результаты работы кода не могут быть использованы в этом диапазоне.

Графическое представление результатов сравнения представлено на рис.3.2:

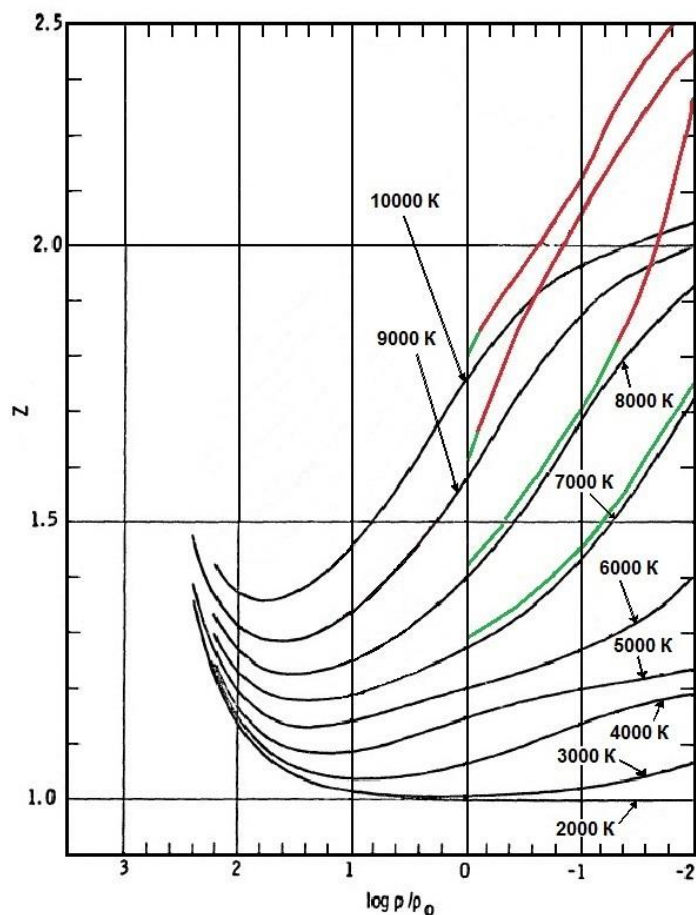


Рисунок 3.2 – Зависимость Z от $\log \frac{p}{p_0}$

Соответственно, графики 2.4 – 2.11 (М от 17) могут содержать ошибочные значения. Также важно, для какой высоты полета проводится расчет, поскольку ударная температура определяется скоростью полета и заборной температурой, падающей на высоте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнения показывают, что если зависимость $\gamma(\rho, T)$, валидна до 10000К как минимум, то $Z(\rho, T)$ содержит ошибки, начиная с 8000К. Что это означает? Z устанавливает связь между p , ρ и T . Если истинна Z , то код выдает полноценные точки уравнения состояния. Поскольку при $T < 10000\text{К}$ γ от T истинна, согласно Гилмор, то при истинной Z также валидна зависимость $T(E, \rho)$, генерируемая кодом. Соответственно, код можно использовать при температурах, показанных на рис. 3.2. Этим температурам соответствуют диапазоны удельной энергии:

- до 20 000 000 (для плотности 1);
- кроме 350 238 – 2 190 999, до 30 000 000 (для плотности 0,1292);
- кроме 350 238 – 2 267 545, до 30 000 000 (для плотности 0,01292).

Также возможно исправить поддиапазон 350 238 - 2 190 999, т.к. Z там можно приравнять к 1 с погрешностью до 1-2%. При этом следует внимательнее проверить показатель γ .

Полученные данные можно использовать для построения системы управления полетом спускаемого аппарата. За счет возможности выбора траектории можно минимизировать негативные факторы, влияющие на спускаемый аппарат: получить достоверные оценки взаимодействия системы теплозащиты аппарата с ударно нагретым воздухом, достичь высокой точности определения тормозящей силы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вассерман А.А. Аналитическое описание теплофизических свойств воздуха и его компонентов и составление таблиц справочной данных. 2009. № 6. С. 43-53.
2. Tables of Thermal Properties of Gases/ J. Hilsenrath, C.W. Beckett, W.C. Benedict and oth. NBS Circ. 564, 1955. — 473 p.
3. Din F. Thermodynamic Functions of Gases. — London: Butterworths. V. 2, 1956. — 201 p.; V. 3, 1961. — 161 p.
4. Казавчинский Я.З. Об одном методе определения постоянных вириальной формы уравнения состояния реального газа// Докл. АН СССР. — 1954. — Т. 95. — С. 1005-1008.
5. Таблицы термодинамических функций воздуха (для температур от 6000 до 12000 °К и давлений от 0,001 до 1000 атм.)/ А.С. Предводителей, Е.В. Ступоченко, Е.В. Самуйлов и др. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 302 с.
6. Таблицы термодинамических функций воздуха (для температур от 12000 до 20000 °К и давлений от 0,001 до 1000 атм.)/ А.С. Предводителей, Е.В. Ступоченко, А.С. Плешанов и др. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 230 с.
7. Таблицы термодинамических функций воздуха (для температур от 200 до 6000 °К и давлений от 0,00001 до 100 атм)/ А.С. Предводителей, Е.В. Ступоченко, Е.В. Самуйлов и др. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 268 с.
8. Термодинамические свойства индивидуальных веществ/ Л.В. Гурвич, Г.Ф. Хачкурузов, В.А. Медведев и др.; Под ред. В.П. Глушко, т. I, т. II. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 1162 с., 916 с.
9. Thermodynamische Funktionen idealer Gase fuer Temperaturen bis 6000 K/ H.D. Baehr, H. Hartmann, H.C. Pohl, H. Schomacker. — Berlin: Springer_Verlag, 1968. — 415 S.

10. Бестужев А.С. Термодинамические и транспортные свойства воздуха и его компонентов при высоких температурах.— Одесса: ОТИ им. М.В. Ломоносова, 1968. — 32 с.
11. Кессельман П.М. К вопросу расчета теплофизических свойств реальных газов при высоких температурах// Теплофизика высоких температур. — 1964. — Т.2. — № 6.— С. 879-883.
12. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. второе. — М.: Наука, 1972. — 720 с.
13. Теплофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях: Справочник/ В.Н. Зубарев, А.Д. Козлов, В.М. Кузнецов и др. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 232 с.
14. Термодинамические свойства азота/ В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов, Г.А. Спиридонов, В.А. Цымарный. — М.: Изд-во стандартов, 1977. — 352 с.
15. Термодинамические свойства воздуха/ В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов, Г.А. Спиридонов, В.А. Цымарный. — М.: Изд-во стандартов, 1978. — 276 с.
16. Термодинамические свойства кислорода/ В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов, Г.А. Спиридонов, В.А. Цымарный. — М.: Изд-во стандартов, 1981. — 304 с.
17. Термодинамические свойства гелия/ В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов, Г.А. Спиридонов, В.А. Цымарный. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 320 с.
18. Недоступ В.И., Галькевич Е.П., Каминский Е.С.
Термодинамические свойства газов при высоких температурах и давлениях. — Киев: Наукова думка, 1990. — 196 с.
19. International Thermodynamic Tables of the Fluid State. Volume 6: Nitrogen/ S. Angus, K.M. de Reuck, R.T. Armstrong, R.T. Jacobsen, R.B. Stewart. — Oxford: Pergamon Press, 1979. — 136 p.

20. Wagner W., de Reuck K.M. Oxygen. International Thermodynamic Tables of the Fluid State_9; based on surveys and equations by W. Wagner, R. Schmidt, J. Ewers, R.B. Stewart, R.T. Jacobsen. — Oxford: Blackwell Scient. Publ., 1987. — 114 p.
21. Hilsenrath, Joseph, Klein, Max, and Woolley, Harold W.: Tables of Thermodynamic Properties of Air Including Dissociation and Ionization From 1,500° K to 15,000° K., Dec. 1959.
22. Gilmore, F. R.: Equilibrium Composition and Thermodynamic Properties of Air to 24,000° K. U.S. Air Force Project RAND Res. Memo. RM-1543, The RAND Corp., Aug. 24, 1955.
23. А. Н. Крайко, В. Е. Макаров, Явные аналитические формулы, определяющие равновесный состав и термодинамические функции воздуха для температур от 200- 20000 К, ТВТ, 1996, том 34, выпуск 2, 208–219
24. Physics of high-temperature air. Part 1: Basics Bauer, Ernest Final Report, Oct. 1987 - Dec. 1988 Institute for Defense Analyses, Alexandria, VA, 1990
25. Huber, Paul W. Hypersonic Shock-Heated Flow Parameters for Velocities to 46,000 feet per second and Altitudes to 323,000 feet. NASA Technical Report NASA-TR-R-163, Langley Research Center, December 1963.
26. Minzner, H. A., and Ripley, W. S.: The ARDC Model Atmosphere, 1956. Air Force Surveys in Geophysics No. 86 (AFCRC TN-56-204, ASTIA Doc. 110253), Air Force Cambridge Res. Center, Dec. 1956.
27. Hilsenrath, Joseph, and Beckett, Charles W.: Tables of Thermodynamic Properties of Argon-Free Air to 15,000° K. AEDC-TN-56-12, Arnold Eng. Dev. Center, Sept. 1956.
28. Logan, J. G., Jr., and Treanor, C. E.: Tables of Thermodynamic Properties of Air From 3,000° K to 10,000° K at Intervals of 100° K. Rep. No. EE-10077-A-3. Cornell Aero. Lab., Inc., Jan. 1957.

29. Landis, F., and Nilson, E. N.: Thermodynamic Properties of Ionized and Dissociated Air From 1,500° K to 15,000° K. P & WA Rep. No. 1921, Pratt and Whitney Aircraft, Jan. 1961.
30. US Standard Atmosphere, 1976. National Oceanic and Atmospheric Administration. NASA. US Air Force. Report No. AD-A035728.
31. S. Srinivasan, J. C. Tannehill, K. S. Weilmuenster, Simplified Curve Fits for The Thermodynamic Properties of Equilibrium Air / June 1986, Engineering Research Institute, Iowa State University.
32. S. Srinivasan, J. C. Tannehill, K. S. Weilmuenster, Simplified Curve Fits for The Thermodynamic Properties of Equilibrium Air / August 1987.

Приложение 1

В приложении представлен листинг программы.

```
{ SUBROUTINE TGAS1 (E,R,P,A,T,MFLAG) T;
T  INPUTS FOR SUBROUTINE;;
T;
T  += INTERNAL ENERGY, IN (M/SEC)**2 ;;
T  R= DENSITY, IN KG/M**3 .;
T;
T  OUTPUTS;;
T;
T  P= PRESSURE, IN NEWTONS/M**2 ;;
T  A= SPEED OF SOUND, IN M/SEC ;;
T  T= TEMPERATURE, IN KELVIN .;
T;
T  IF MFLAG=0, RETURN P ;;
T  IF MFLAG=1, RETURN P AND A ;;
T  IF MFLAG=2, RETURN P AND T ;;
T  IF MFLAG=3, RETURN P, A AND T .;
T}
const E0=78408.4E00;
R0=1.292E00;
P0=1.0133E05;
T0=273.15E00;
GASCON=287.06E00;
gamm0=1.3988;
var e,r,p,a,t:real;
t000,a00,du0,p00,t00,r00,r01,r02,ea,eb,ec,ed,mach:real;
tts,ts,tnon,rratio,eratio,x,y,z,z1,ym,deno:real;
rsave,yhigh,ylow,phigh,plow,ahigh,alow,gamm,gammr,gamme,
gas1,gas2,gas3,gas4,gas5,gas6,gas7,gas8,gas9,
gas1r,gas2r,gas3r,gas4r,gas5r,gas6r,gas7r,gas8r,gas9r,
gas1e,gas2e,gas3e,gas4e,gas5e,gas6e,gas7e,gas8e,gas9e,
plf,colf,asq,bet,alf,betr,alfr,rf:real;
```

```

divo,ii,jj,kk,mch,km,jflag,iflag,lflag,kflag,mflag:integer;
fo:text;
function alog10(arg:real):real;
begin
  alog10:=ln(arg)/ln(10)
end;
function power10(arg:real):real;
begin
  power10:=exp(arg*ln(10))
end;
procedure calc;
label 100,110,120,130,140,150,160,
      170,180,190,200,210,220,230,240,250,260;
begin
  IF(Y>-0.5E00) then goto 200;
  IF(Y>-4.5E00) then goto 150;
  IF(Z>0.65E00) then goto 100;
  GAMM:=1.3965E00;
  goto 250 ;
100: IF(Z>1.5E00) then goto 110;
  GAS1:=1.52792E00-1.26953E-02*Y;
  GAS2:=(-6.13514E-01-5.08262E-02*Y)*Z;
  GAS3:=(-5.49384E-03+4.75120E-05*Z-3.18468E-04*Y)*Y*Y;
  GAS4:=(6.31835E-01+3.34012E-02*Y-2.19921E-01*Z)*Z*Z;
  GAS5:=-4.96286E01-1.17932E+01*Y;
  GAS6:=(6.91028E01+4.40405E+01*Y)*Z;
  GAS7:=(5.09249E00-1.40326E00*Z+2.08988E-01*Y)*Y*Y;
  GAS8:=(1.37308E01-1.78726E01*Y-1.86943E01*Z)*Z*Z;
  GAS9:=EXP(24.60452E00-2.E00*Y-2.093022E01*Z);
  DENO:=1.-GAS9;
  GAMM:=(GAS1+GAS2+GAS3+GAS4+(GAS5+GAS6+GAS7+GAS8)/DENO);
  IF(KFLAG=0) then goto 260;
  GAS1R:=-1.26953E-02;
  GAS2R:=-5.08262E-02*Z;

```

```

GAS3R:=(-1.098768E-02-9.50240E-05*Z-9.554040E-04*Y)*Y;
GAS4R:=3.34012E-02*Z*Z;
GAS5R:=-1.17932E01;
GAS6R:=4.40405E01*Z;
GAS7R:=(1.018498E01-2.80652E00*Z+6.269641E-01*Y)*Y;
GAS8R:=-1.78726E01*Z*Z;
GAS9R:=-2.0E00;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=4.75120E-05*Y*Y;
GAS4E:=(1.26367E00+6.68024E-02*Y-6.59763E-01*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=-1.40326E00*Y*Y;
GAS8E:=(2.74616E01-3.57452E01*Y-5.60829E01*Z)*Z;
GAS9E:=-2.093022E01;
GAMMR:=GAS1R+GAS2R+GAS3R+GAS4R+(GAS5R+GAS6R+GAS7R+GAS8R)/DENO+(
GAS5+GAS6+GAS7+GAS8)*GAS9R*GAS9/sqr(deno);
GAMME:=GAS2E+GAS3E+GAS4E+(GAS6E+GAS7E+GAS8E)/deno+(GAS5+GAS6+GAS7
+GAS8)*GAS9E*GAS9/sqr(deno);
goto 260 ;
110: IF(Z>2.2E00) then goto 120;
GAS1:=-1.70333E01-5.08545E-01*Y;
GAS2:=(2.46299E01+4.45617E-01*Y)*Z;
GAS3:=(-8.95298E-03+2.29618E-03*Z-2.89186E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.10204E01-9.89727E-02*Y+1.62903E00*Z)*Z*Z;
GAS5:=1.86797E01+5.19662E-01*Y;
GAS6:=(-2.41338E01-4.34837E-01*Y)*Z;
GAS7:=(9.16089E-03-1.52082E-03*Z+3.46482E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(1.02035E01+9.70762E-02*Y-1.39460E00*Z)*Z*Z;
GAS9:=(-1.42762E02-1.647088E00*Y+7.660312E01*Z+8.259346E-01*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240;
GAS1R:=-5.08545E-01;
GAS2R:=4.45617E-01*Z;
GAS3R:=(-1.790596E-02+4.59236E-03*Z-8.67558E-04*Y)*Y;
GAS4R:=-9.89727E-02*Z*Z;

```

```

GAS5R:=5.19662E-01;
GAS6R:=-4.34837E-01*Z;
GAS7R:=(1.832178E-02-3.04164E-03*Z+1.039446E-03*Y)*Y;
GAS8R:=9.70762E-02*Z*Z;
GAS9R:=-1.647088E00+8.259346E-01*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=2.29618E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-2.20408E01-1.979454E-01*Y+4.88709E00*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=-1.52082E-03*Y*Y;
GAS8E:=(2.0407E01+1.941524E-01*Y-4.1838E00*Z)*Z;
GAS9E:=7.660312E01+8.259346E-01*Y;
goto 240 ;
120: IF (Z>3.05E00) then goto 130;
GAS1:=2.24374E00+1.03073E-01*Y;
GAS2:=(-5.32238E-01-5.59852E-02*Y)*Z;
GAS3:=(3.56484E-03-1.01359E-04*Z+1.59127E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-4.80156E-02+1.06794E-02*Y+3.66035E-02*Z)*Z*Z;
GAS5:=-5.70378E00-3.10056E-01*Y;
GAS6:=(5.01094E00+1.80411E-01*Y)*Z;
GAS7:=(-9.49361E-03+1.94839E-03*Z-2.24908E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-1.40331E00-2.79718E-02*Y+1.20278E-01*Z)*Z*Z;
GAS9:=(1.139755E02-4.985467E00*Y-4.223833E01*Z+2.009706E00*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240 ;
GAS1R:=1.03073E-01;
GAS2R:=-5.59852E-02*Z;
GAS3R:=(7.12968E-03-2.0218E-04*Z+4.77381E-04*Y)*Y;
GAS4R:=1.06794E-02*Z*Z;
GAS5R:=-3.10056E-01;
GAS6R:=1.80411E-01*Z;
GAS7R:=(-1.898722E-02+3.89678E-03*Z-6.74724E-04*Y)*Y;
GAS8R:=-2.79718E-02*Z*Z;
GAS9R:=-4.985467E00+2.009706E00*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;

```



```

GAS3E:=-1.01359E-04*Y*Y;
GAS4E:=(-9.60312E-02+2.13588E-02*Y+1.098105E-01*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=1.94839E-03*Y*Y;
GAS8E:=(-2.80662E00-5.59436E-02*Y+3.60834E-01*Z)*Z;
GAS9E:=-4.223833E01+2.009706E00*Y;
goto 240;
130: IF(Z>3.4E00) then goto 140;
GAS1:=-0.20807E02+0.40197E00*Y;
GAS2:=(0.22591E02-0.25660E00*Y)*Z;
GAS3:=(-0.95833E-03+0.23966E-02*Z+0.33671E-03*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-0.77174E01+0.4606E-01*Y+0.878E00*Z)*Z*Z;
GAS5:=-0.21737E03-0.46927E01*Y;
GAS6:=(0.18101E03+0.26621E01*Y)*Z;
GAS7:=(-0.34759E-01+0.64681E-02*Z-0.70391E-03*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-0.50019E02-0.38381E00*Y+0.45795E01*Z)*Z*Z;
GAS9:=(0.4544373E03+0.1250133E02*Y-0.1376001E03*Z-0.3641774E01*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240 ;
GAS1R:=0.40197E00;
GAS2R:=-0.25660E00*Z;
GAS3R:=(-1.91666E-03+4.7932E-03*Z+1.01013E-03*Y)*Y;
GAS4R:=0.4606E-01*Z*Z;
GAS5R:=-0.46927E01;
GAS6R:=0.26621E01*Z;
GAS7R:=(-6.9518E-02+1.29362E-02*Z-2.11173E-03*Y)*Y;
GAS8R:=-0.38381E00*Z*Z;
GAS9R:=0.1250133E02-0.3641774E01*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=0.23966E-02*Y*Y;
GAS4E:=(-1.54348E01+9.212E-02*Y+2.634E00*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=0.64681E-02*Y*Y;
GAS8E:=(-1.00038E02-7.6762E-01*Y+1.37385E01*Z)*Z;
GAS9E:=-0.1376001E03-0.3641774E01*Y;

```

```

goto 240 ;
140: IF(Z>3.69E00) then WRITE('wrong data R,E:',R,',',E,' NO OUTPUT IS VALID');
GAS1:=-5.22951E01-4.00011E-01*Y;
GAS2:=(4.56439E01+2.24484E-01*Y)*Z;
GAS3:=(-3.73775E-03+2.43161E-03*Z+2.24755E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.29756E01-2.79517E-02*Y+1.22998E00*Z)*Z*Z;
GAMM:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4;
IF(KFLAG=0) then goto 260;
GAS1R:=-4.00011E-01;
GAS2R:=2.24484E-01*Z;
GAS3R:=(-7.4755E-03+4.86322E-03*Z+6.74265E-04*Y)*Y;
GAS4R:=-2.79517E-02*Z*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=2.43161E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-2.59512E01-5.59034E-02*Y+3.68994E00*Z)*Z;
GAMMR:=GAS1R+GAS2R+GAS3R+GAS4R;
GAMME:=GAS2E+GAS3E+GAS4E;
goto 260 ;
150: IF(Z>0.65E00) then goto 160;
GAMM:=1.398E00;
goto 250 ;
160: IF (Z>1.5E00) then goto 170;
GAS1:=1.39123E00-4.08321E-03*Y;
GAS2:=(1.42545E-02+1.41769E-02*Y)*Z;
GAS3:=(2.57225E-04+6.52912E-04*Z+8.46912E-05*Y)*Y*Y;
GAS4:=(6.2555E-02-7.83637E-03*Y-9.78720E-02*Z)*Z*Z;
GAS5:=5.80955-1.82302E-01*Y;
GAS6:=(-9.62396E00+1.79619E-01*Y)*Z;
GAS7:=(-2.30518E-02+1.18720E-02*Z-3.35499E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(5.27047E00-3.65507E-02*Y-9.19897E-01*Z)*Z*Z;
GAS9:=(-10.0E00*Z+14.2E00);
IF(KFLAG=0) then goto 240;
GAS1R:=-4.08321E-03;
GAS2R:=1.41769E-02*Z;

```

```

GAS3R:=(5.1445E-04+1.305824E-03*Z+2.540736E-04*Y)*Y;
GAS4R:=-7.83637E-03*Z*Z;
GAS5R:=-1.82302E-01;
GAS6R:=1.79619E-01*Z;
GAS7R:=(-4.61036E-02+2.3744E-02*Z-1.006497E-03*Y)*Y;
GAS8R:=-3.65507E-02*Z*Z;
GAS9R:=0.0E00;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=6.52912E-04*Y*Y;
GAS4E:=(1.2511E-01-1.567274E-02*Y-2.93616E-01*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=1.1872E-02*Y*Y;
GAS8E:=(1.054094E01-7.31014E-02*Y-2.759691E00*Z)*Z;
GAS9E:=-10.0E00;
goto 240 ;
170: IF (Z>2.22E00) then goto 180;
GAS1:=-1.20784E00-2.57909E-01*Y;
GAS2:=(5.02307E00+2.87201E-01*Y)*Z;
GAS3:=(-9.95577E-03+5.23524E-03*Z-1.45574E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-3.20619E00-7.50405E-02*Y+6.51564E-01*Z)*Z*Z;
GAS5:=-6.62841E00+2.77112E-02*Y;
GAS6:=(7.30762E00-7.68230E-02*Y)*Z;
GAS7:=(7.19421E-03-3.62463E-03*Z+1.62777E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-2.33161E00+3.04767E-02*Y+1.66856E-01*Z)*Z*Z;
GAS9:=(1.255324E02+2.015335E00*Y-6.390747E01*Z-6.515225E-01*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240 ;
GAS1R:=-2.57909E-01;
GAS2R:=2.87201E-01*Z;
GAS3R:=(-1.991154E-02+1.047048E-02*Z-4.36722E-04*Y)*Y;
GAS4R:=-7.50405E-02*Z*Z;
GAS5R:=2.77112E-02;
GAS6R:=-7.6823E-02*Z;
GAS7R:=(1.438842E-02-7.24926E-03*Z+4.88331E-04*Y)*Y;
GAS8R:=3.04767E-02*Z*Z;

```

```

GAS9R:=2.015335E00-6.515225E-01*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=5.23524E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-6.41238E00-1.50081E-01*Y+1.954692E00*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=-3.62463E-03*Y*Y;
GAS8E:=(-4.66322E00+6.09534E-02*Y+5.00568E-01*Z)*Z;
GAS9E:=-6.390747E01-6.515225E-01*Y;
goto 240 ;
180: IF (Z>2.95) then goto 190;
GAS1:=-2.26460E00-7.82263E-02*Y;
GAS2:=(4.90497E00+7.18096E-02*Y)*Z;
GAS3:=(-3.06443E-03+1.74209E-03*Z+2.84214E-05*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-2.24750E00-1.31641E-02*Y+3.33658E-01*Z)*Z*Z;
GAS5:=-1.47904E01-1.76627E-01*Y;
GAS6:=(1.35036E01+8.77280E-02*Y)*Z;
GAS7:=(-2.13327E-03+7.15487E-04*Z+7.30928E-05*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-3.95372E00-8.96151E-03*Y+3.63229E-01*Z)*Z*Z;
GAS9:=(1.788542E02+6.317894E00*Y-6.756741E01*Z-2.460060E00*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240 ;
GAS1R:=-7.82263E-02;
GAS2R:=7.18096E-02*Z;
GAS3R:=(-6.12886E-03+3.48418E-03*Z+8.52642E-05*Y)*Y;
GAS4R:=-1.31641E-02*Z*Z;
GAS5R:=-1.76627E-01;
GAS6R:=8.7728E-02*Z;
GAS7R:=(-4.26654E-03+1.430974E-03*Z+2.192784E-04*Y)*Y;
GAS8R:=-8.96151E-03*Z*Z;
GAS9R:=6.317894E00-2.46006E00*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=1.74209E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-4.495E00-2.63282E-02*Y+1.000974E00*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=7.15487E-04*Y*Y;

```

```

GAS8E:=(-7.90744E00-1.792302E-02*Y+1.089687E00*Z)*Z;
GAS9E:=-6.756741E01-2.46006E00*Y;
goto 240;
190: IF(Z>3.4E00) then WRITE('wrong dataaa R,E:',R,',',E,' NO OUTPUT IS VALID');
GAS1:=-1.66904E01-2.58318E-01*Y;
GAS2:=(1.78350E01+1.54898E-01*Y)*Z;
GAS3:=(-9.71263E-03+3.97740E-03*Z+9.04300E-05*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-5.94108E00-2.01335E-02*Y+6.60432E-01*Z)*Z*Z;
GAS5:=8.54690E01+1.17554E01*Y;
GAS6:=(-7.21760E01-7.15723E00*Y)*Z;
GAS7:=(-4.16150E-02+1.38147E-02*Z+5.45184E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(2.01758E01+1.08990E00*Y-1.86438E00*Z)*Z*Z;
GAS9:=(2.883262E02+1.248536E01*Y-8.816985E01*Z-3.720309E00*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240;
GAS1R:=-2.58318E-01;
GAS2R:=1.54898E-01*Z;
GAS3R:=(-1.942526E-02+7.9548E-03*Z+2.7129E-04*Y)*Y;
GAS4R:=-2.01335E-02*Z*Z;
GAS5R:=1.17554E01;
GAS6R:=-7.15723E00*Z;
GAS7R:=(-8.323E-02+2.76294E-02*Z+1.635552E-03*Y)*Y;
GAS8R:=1.0899E00*Z*Z;
GAS9R:=1.248536E01-3.720309E00*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=3.9774E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-1.188216E01-4.0267E-02*Y+1.981296E00*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=1.38147E-02*Y*Y;
GAS8E:=(4.03516E01+2.1798E00*Y-5.59314E00*Z)*Z;
GAS9E:=-8.816985E01-3.720309E00*Y;
goto 240;
200: IF(Z>0.65E00) then goto 210;
GAMM:=1.3988E00;
goto 250;

```

```

210: IF(Z>1.7E00) then goto 220;
GAS1:=1.37062E00+1.29673E-02*Y;
GAS2:=(1.11418E-01-3.26912E-02*Y)*Z;
GAS3:=(1.06869E-03-2.00286E-03*Z+2.38305E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.06133E-01+1.90251E-02*Y+3.02210E-03*Z)*Z*Z;
GAMM:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4;
IF(KFLAG=0) then goto 260;
GAS1R:=1.29673E-02;
GAS2R:=-3.26912E-02*Z;
GAS3R:=(2.13738E-03-4.00572E-03*Z+7.14915E-04*Y)*Y;
GAS4R:=1.90251E-02*Z*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=-2.00286E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-2.12266E-01+3.80502E-02*Y+9.0663E-03*Z)*Z;
GAMMR:=GAS1R+GAS2R+GAS3R+GAS4R;
GAMME:=GAS2E+GAS3E+GAS4E;
goto 260;
220: IF(Z>2.35) then goto 230;
GAS1:=3.43846E-02-2.33584E-01*Y;
GAS2:=(2.85574E00+2.59787E-01*Y)*Z;
GAS3:=(-10.89927E-03+4.23659E-03*Z+3.85712E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.94785E00-6.73865E-02*Y+4.08518E-01*Z)*Z*Z;
GAS5:=-4.20569E00+1.33139E-01*Y;
GAS6:=(4.51236E00-1.66341E-01*Y)*Z;
GAS7:=( 1.67787E-03-1.10022E-03*Z+3.06676E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-1.35516E00+4.91716E-02*Y+7.52509E-02*Z)*Z*Z;
GAS9:=(1.757042E02-2.163278E00*Y-8.833702E01*Z+1.897543E00*Y*Z);
IF(KFLAG=0) then goto 240;
GAS1R:=-2.33584E-01;
GAS2R:=2.59787E-01*Z;
GAS3R:=(-2.179854E-02+8.47318E-03*Z+1.157136E-03*Y)*Y;
GAS4R:=-6.73865E-02*Z*Z;
GAS5R:=1.33139E-01;
GAS6R:=-1.66341E-01*Z;

```

```

GAS7R:=(3.35574E-03-2.20044E-03*Z+9.20028E-04*Y)*Y;
GAS8R:=4.91716E-02*Z*Z;
GAS9R:=-2.163278E00+1.897543E00*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;
GAS3E:=4.23659E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-3.8957E00-1.34773E-01*Y+1.225554E00*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=-1.10022E-03*Y*Y;
GAS8E:=(-2.71032E00+9.83432E-02*Y+2.257527E-01*Z)*Z;
GAS9E:=-8.833702E01+1.897543E00*Y;
goto 240;
230: IF(Z>2.9E00) then WRITE('wrong dataaa R,E:',R,',',E,' NO OUTPUT IS VALID');
GAS1:=-1.70633E00-1.48403E-01*Y;
GAS2:=(4.23104E00+1.37290E-01*Y)*Z;
GAS3:=(-9.10934E-03+3.85707E-03*Z+2.69026E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.97292E00-2.81830E-02*Y+2.95882E-01*Z)*Z*Z;
GAS5:=3.41580E01-1.89972E01*Y;
GAS6:=(-4.0858E01+1.30321E01*Y)*Z;
GAS7:=(-8.01272E-01+2.75121E-01*Z-1.77969E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(1.60826E01-2.23386E00*Y-2.08853E00*Z)*Z*Z;
GAS9:=(2.561323E02+1.737089E02*Y-9.058890E01*Z-5.838803E01*Y*Z);
IF (GAS9>30.E00) then GAS9:=30.E00;
IF(GAS9<-30.E00) then GAS9:=-30.E00;
IF(KFLAG=0) then goto 240;
GAS1R:=-1.48403E-01;
GAS2R:=1.3729E-01*Z;
GAS3R:=(-1.821868E-02+7.71414E-03*Z+8.07078E-04*Y)*Y;
GAS4R:=-2.8183E-02*Z*Z;
GAS5R:=-1.89972E01;
GAS6R:=1.30321E01*Z;
GAS7R:=(-1.602544E00+5.50242E-01*Z-5.33907E-04*Y)*Y;
GAS8R:=-2.23386E00*Z*Z;
GAS9R:=1.737089E02-5.838803E01*Z;
GAS2E:=GAS2/Z;

```

```

GAS3E:=3.85707E-03*Y*Y;
GAS4E:=(-3.94584E00-5.6366E-02*Y+8.87646E-01*Z)*Z;
GAS6E:=GAS6/Z;
GAS7E:=2.75121E-01*Y*Y;
GAS8E:=(3.21652E01-4.46772E00*Y-6.26559E00*Z)*Z;
GAS9E:=-9.05889E01-5.838803E01*Y;
240: GAS9:=EXP(GAS9);
GAMM:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4+(GAS5+GAS6+GAS7+GAS8)/(1.+GAS9);
IF(KFLAG=0) then goto 260;
GAMMR:=GAS1R+GAS2R+GAS3R+GAS4R+(GAS5R+GAS6R+GAS7R+GAS8R)/(1.+GAS
9)-(GAS5+GAS6+GAS7+GAS8)*GAS9R*GAS9/(sqr(1.+GAS9));
GAMME:=GAS2E+GAS3E+GAS4E+(GAS6E+GAS7E+GAS8E)/(1.+GAS9)-
(GAS5+GAS6+GAS7+GAS8)*GAS9E*GAS9/(sqr(1.+GAS9));
goto 260;
250: { CONTINUE };
IF(KFLAG=0) then goto 260;
GAMMR:=0.0E00;
GAMME:=0.0E00;
260: P:=(GAMM-1)*E*R;
end;
procedure maain;
label 10,20,30,40,50,60,70,80,90,270,280,290,300,
      310,320,330,340,350,360,370,380,390,400,410,420,430,440,
      450,460;
begin
RRATIO:=R/R0;
ERATIO:=E/E0;
Y:=ALOG10(RRATIO);
Z:=ALOG10(ERATIO);
LFLAG:=0;
KFLAG:=0;
IF (MFLAG>1) then LFLAG:=1;
IF ((MFLAG=1) OR (MFLAG=3)) then KFLAG:=1;
IF(ABS(Y+4.5E00)<2.5E-02) then goto 20;

```



```
IF(ABS(Y+0.5E00)<5.0E-03) then goto 50;
IFLAG:=-1;
goto 90;
10: IF(LFLAG=1) then goto 300;
goto 460;
20: IFLAG:=0;
RSAVE:=R;
YM:=Y;
Y:=-4.5E00+2.5E-02;
YHIGH:=Y;
R:=power10(Y)*R0;
JFLAG:=-1;
goto 90;
30: PHIGH:=P;
AHIGH:=A;
Y:=-4.5E00-2.5E-02;
YLOW:=Y;
R:=power10(Y)*R0;
JFLAG:=0;
goto 90 ;
40: PLOW:=P;
ALOW:=A;
goto 80 ;
50: IFLAG:=1;
RSAVE:=R;
YM:=Y;
Y:=-0.5E00+0.5E-02;
YHIGH:=Y;
R:=power10(Y)*R0;
JFLAG:=-1;
goto 90 ;
60: PHIGH:=P;
AHIGH:=A;
Y:=-0.5E00-0.5E-02;
```

```

YLOW:=Y;
R:=power10(Y)*R0;
JFLAG:=0;
goto 90 ;
70:   PLOW:=P;
ALOW:=A;
80:   P:=PLOW+(PHIGH-PLOW)/(YHIGH-YLOW)*(YM-YLOW);
A:=ALOW+(AHIGH-ALOW)/(YHIGH-YLOW)*(YM-YLOW);
R:=RSAVE;
IF(LFLAG=1) then goto 300;
goto 460;
90:
calc;{
}
IF(KFLAG=0) then goto 270;
GAMMR:=GAMMR/2.302585E00;
GAMME:=GAMME/2.302585E00;
ASQ:=E*((GAMM-1.E00)*(GAMM+GAMME)+GAMMR);
A:=SQRT(ASQ);
270:  {<0,=0,>0}
IF(IFLAG<0) then goto 10;
IF(IFLAG=0) then goto 280;
IF(IFLAG>0) then goto 290;
280:
IF(JFLAG<0) then goto 30;
IF(JFLAG=0) then goto 40;
IF(JFLAG>0) then goto 10;
290:
IF(JFLAG<0) then goto 60;
IF(JFLAG=0) then goto 70;
IF(JFLAG>0) then goto 10;
300: X:=ALOG10(P/P0);
Y:=ALOG10(R/R0);
Z1:=X-Y;

```

```

IF (Y>-0.5E00) then goto 400;
IF(Y>-4.5E00) then goto 350;
IF(Z1>0.25E00) then goto 310;
T:=P/(GASCON*R);
goto 460;
310: IF(Z1>0.95E00) then goto 320;
GAS1:=1.44824E-01+1.36744E-02*Y;
GAS2:=(1.17099E-01-8.22299E-02*Y)*Z1;
GAS3:=(-6.75303E-04-1.47314E-03*Z1-7.90851E-05*Y)*Y*Y;
GAS4:=(1.3937E00+6.83066E-02*Y-6.65673E-01*Z1)*Z1*Z1;
TNON:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4;
goto 450;
320: IF(Z1>1.4E00) then goto 330;
GAS1:=-9.325E00-9.32017E-01*Y;
GAS2:=(2.57176E01+1.61292E00*Y)*Z1;
GAS3:=(-3.00242E-02+2.62959E-02*Z1-2.77651E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-2.1662E01-6.81431E-01*Y+6.26962E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=-3.38534E00+1.82594E-01*Y;
GAS6:=(1.84928E-01-7.01109E-01*Y)*Z1;
GAS7:=(1.10150E-02-1.60570E-02*Z1+1.57701E-05*Y)*Y*Y;
GAS8:=(5.4702E00+4.11624E-01*Y-2.81498E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(-3.887015E01-2.908228E01*Y+4.070557E01*Z1+2.682347E01*Y*Z1);
goto 440;
330: IF( Z1>1.95E00) then goto 340;
GAS1:=-1.93082E01-1.54557E00*Y;
GAS2:=(3.69035E01+1.92214E00*Y)*Z1;
GAS3:=(-3.59027E-02+2.31827E-02*Z1-2.01327E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-2.20440E01-5.80935E-01*Y+4.43367E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=-3.83069E00+1.32864E-01*Y;
GAS6:=(-3.91902E00-6.79564E-01*Y)*Z1;
GAS7:=(6.06341E-04-8.12997E-03*Z1-1.61012E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(7.24632E00+3.15461E-01*Y-2.17879E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(2.08E01-2.56E01*Y+1.0E00*Z1+1.80E01*Y*Z1);
goto 440;

```

```

340: GAS1:=-2.59721E01-1.77419E00*Y;
GAS2:=(3.62495E01+1.55383E00*Y)*Z1;
GAS3:=(-4.51359E-02+2.43648E-02*Z1+1.2804E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.59988E01-3.17807E-01*Y+2.40584E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=-1.81433E01+1.54896E-01*Y;
GAS6:=(1.26582E01-3.66275E-01*Y)*Z1;
GAS7:=(3.24496E-02-1.66385E-02*Z1+3.02177E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-1.41759E00+1.11241E-01*Y-3.10983E-01*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(1.115884E02-6.452606E00*Y-5.337863E01*Z1+2.026986E00*Y*Z1);
goto 440;
350: IF(Z1>0.25E00) then goto 360;
T:=P/(GASCON*R);
goto 460;
360: IF(Z1>0.95E00) then goto 370;
GAS1:=2.94996E-02+7.24997E-03*Y;
GAS2:=(7.81783E-01-3.27402E-02*Y)*Z1;
GAS3:=(3.23357E-04-9.69989E-04*Z1-8.93240E-06*Y)*Y*Y;
GAS4:=(3.95198E-01+2.92926E-02*Y-2.12182E-01*Z1)*Z1*Z1;
TNON:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4;
goto 450;
370: IF (Z1>1.4E00) then goto 380;
GAS1:=-5.53324E00-3.53749E-01*Y;
GAS2:=(1.63638E01+5.87547E-01*Y)*Z1;
GAS3:=(-1.16081E-02+7.99571E-03*Z1-2.79316E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.41239E01-2.35146E-01*Y+4.28891E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=-9.07979E00+1.01308E00*Y;
GAS6:=(-2.29428E01-1.52122E00*Y)*Z1;
GAS7:=(3.78390E-02-2.63115E-02*Z1+5.46402E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(1.95657E01+5.73839E-01*Y-5.63057E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(7.619803E01-1.501155E01*Y-6.770845E01*Z1+1.273147E01*Y*Z1);
goto 440;
380: IF (Z1>2.00E00) then goto 390;
GAS1:=-1.13598E01-1.02049E00*Y;
GAS2:=(2.22793E01+1.24038E00*Y)*Z1;

```

```

GAS3:=(-3.10771E-02+1.92551E-02*Z1-2.69140E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.31512E01-3.62875E-01*Y+2.64544E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=8.72852E00+1.27564E00*Y;
GAS6:=(-1.79172E01-1.52051E00*Y)*Z1;
GAS7:=(4.91264E-02-2.81731E-02*Z1+5.23383E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(1.16719E01+4.45413E-01*Y-2.45584E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(1.84792E02+9.583443E00*Y-1.020835E02*Z1-4.166727E00*Y*Z1);
goto 440;
390: GAS1:=-1.76079E01-1.26579E00*Y;
GAS2:=(2.48544E01+1.09442E00*Y)*Z1;
GAS3:=(-3.65534E-02+1.54346E-02*Z1-4.59822E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.08166E01-2.27803E-01*Y+1.60641E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=2.60669E01+2.31791E00*Y;
GAS6:=(-3.22433E01-1.82645E00*Y)*Z1;
GAS7:=(4.94621E-02-1.85542E-02*Z1+5.04815E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(1.33829E01+3.59744E-01*Y-1.86517E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(3.093755E02+1.875018E01*Y-1.375004E02*Z1-8.333418E00*Y*Z1);
goto 440;
400: IF (Z1>0.25E00) then goto 410;
T:=P/(GASCON*R);
goto 460;
410: IF (Z1>0.95E00) then goto 420;
GAS1:=-2.94081E-03+5.73915E-04*Y;
GAS2:=(9.88883E-01-3.71241E-03*Y)*Z1;
GAS3:=(1.12387E-04-3.76528E-04*Z1+1.76192E-05*Y)*Y*Y;
GAS4:=(2.86656E-02+4.56059E-03*Y-1.99498E-02*Z1)*Z1*Z1;
TNON:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4;
goto 450;
420: IF (Z1>1.45E00) then goto 430;
GAS1:=1.32396E00+8.52771E-02*Y;
GAS2:=(-3.24257E00-2.00937E-01*Y)*Z1;
GAS3:=(5.68146E-03-6.85856E-03*Z1+1.98366E-04*Y)*Y*Y;
GAS4:=(4.53823E00+1.18123E-01*Y-1.6246E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=-5.26673E-01-1.58691E-01*Y;

```

```

GAS6:=(2.61600E00+3.16356E-01*Y)*Z1;
GAS7:=(-1.90755E-02+1.70124E-02*Z1-5.58398E-04*Y)*Y*Y;
GAS8:=(-3.3793E00-1.52212E-01*Y+1.30757E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(1.442206E02-2.544727E01*Y-1.277055E02*Z1+2.236647E01*Y*Z1);
goto 440;
430: GAS1:=-1.60643E00-5.07368E-02*Y;
GAS2:=(3.95872E00+3.69383E-02*Y)*Z1;
GAS3:=(-1.59378E-03+1.06057E-03*Z1+6.53278E-05*Y)*Y*Y;
GAS4:=(-1.71201E00+9.25124E-03*Y+2.71039E-01*Z1)*Z1*Z1;
GAS5:=1.80476E01+1.62964E00*Y;
GAS6:=(-2.73124E01-1.57430E00*Y)*Z1;
GAS7:=(5.85277E-02-2.77313E-02*Z1+1.16146E-03*Y)*Y*Y;
GAS8:=(1.36342E01+3.70714E-01*Y-2.23787E00*Z1)*Z1*Z1;
GAS9:=EXP(1.292515E02+1.360552E00*Y-7.07482E01*Z1+1.360532E00*Y*Z1);
440: TNON:=GAS1+GAS2+GAS3+GAS4+(GAS5+GAS6+GAS7+GAS8)/(1.+GAS9);
450: T:=power10(TNON)*T0;
460: {return point}
end;
{-----}
begin
writeln('Enter RHO - kg/m3, E - J/kg');
readln(r,e);
mflag:=3;
maain;
writeln('p=',P,'Pa, a=',A,'m/sec, T=',T,'K, gamm=',gamm,', R=',(e*(gamm-1)/T),'J/(kg*K)');
end.

```

Приложение 2

Результат работы программы при плотности равной 1,292 кг/м³ и энергиях от 225 000 до 4 600 000 Дж/кг.

e= 225000, p=115931Pa, T= 3.1258273532E+02K, gamm-1= 3.9880000000E-01, Z= 1.0000107487E+00
e= 350000, p=180337Pa, T= 4.8140269079E+02K, gamm-1= 3.9880000000E-01, Z= 1.0100588265E+00
e= 475000, p=241967Pa, T= 6.4609123160E+02K, gamm-1= 3.9427496251E-01, Z= 1.0097897296E+00
e= 600000, p=300993Pa, T= 8.0412160283E+02K, gamm-1= 3.8827753831E-01, Z= 1.0092616607E+00
e= 725000, p=357761Pa, T= 9.5619832609E+02K, gamm-1= 3.8193744379E-01, Z= 1.0088213208E+00
e= 850000, p=412473Pa, T= 1.1027437830E+03K, gamm-1= 3.7559041049E-01, Z= 1.0085345732E+00
e= 975000, p=465300Pa, T= 1.2441446445E+03K, gamm-1= 3.6937381867E-01, Z= 1.0083976806E+00
e=1100000, p=516384Pa, T= 1.3807455373E+03K, gamm-1= 3.6334366054E-01, Z= 1.0083901893E+00
e=1225000, p=565846Pa, T= 1.5128516786E+03K, gamm-1= 3.5751955058E-01, Z= 1.0084898243E+00
e=1350000, p=613791Pa, T= 1.6407336417E+03K, gamm-1= 3.5190406650E-01, Z= 1.0086766294E+00
e=1475000, p=660309Pa, T= 1.7646321841E+03K, gamm-1= 3.4649172049E-01, Z= 1.0089338049E+00
e=1600000, p=705480Pa, T= 1.8847625494E+03K, gamm-1= 3.4127334520E-01, Z= 1.0092475319E+00
e=1725000, p=749374Pa, T= 2.0013181296E+03K, gamm-1= 3.3623831040E-01, Z= 1.0096065328E+00
e=1850000, p=792054Pa, T= 2.1144735326E+03K, gamm-1= 3.3137565957E-01, Z= 1.0100016140E+00
e=1975000, p=833576Pa, T= 2.2243871396E+03K, gamm-1= 3.2667468819E-01, Z= 1.0104252658E+00
e=2100000, p=873990Pa, T= 2.3312032382E+03K, gamm-1= 3.2212522554E-01, Z= 1.0108713320E+00
e=2225000, p=913343Pa, T= 2.4410893548E+03K, gamm-1= 3.1771775696E-01, Z= 1.0088342402E+00
e=2350000, p=951677Pa, T= 2.5412298653E+03K, gamm-1= 3.1344345962E-01, Z= 1.0097529052E+00
e=2475000, p=989030Pa, T= 2.6380166832E+03K, gamm-1= 3.0929419251E-01, Z= 1.0108842232E+00
e=2600000, p=1025438Pa, T= 2.7313468116E+03K, gamm-1= 3.0526246289E-01, Z= 1.0122828786E+00
e=2725000, p=1060933Pa, T= 2.8211639234E+03K, gamm-1= 3.0134138197E-01, Z= 1.0139789712E+00
e=2850000, p=1095545Pa, T= 2.9074492615E+03K, gamm-1= 2.9752461673E-01, Z= 1.0159857285E+00
e=2975000, p=1129303Pa, T= 2.9902146144E+03K, gamm-1= 2.9380634189E-01, Z= 1.0183047365E+00
e=3100000, p=1162234Pa, T= 3.0694975749E+03K, gamm-1= 2.9018119407E-01, Z= 1.0209292584E+00
e=3225000, p=1194361Pa, T= 3.1453602949E+03K, gamm-1= 2.8664422905E-01, Z= 1.0238456960E+00
e=3350000, p=1225707Pa, T= 3.2178947087E+03K, gamm-1= 2.8319088262E-01, Z= 1.0270326068E+00
e=3475000, p=1256294Pa, T= 3.2872395041E+03K, gamm-1= 2.7981693500E-01, Z= 1.0304559810E+00
e=3600000, p=1286143Pa, T= 3.3536135281E+03K, gamm-1= 2.7651847874E-01, Z= 1.0340597514E+00
e=3725000, p=1315272Pa, T= 3.4173439991E+03K, gamm-1= 2.7329188989E-01, Z= 1.0377585264E+00
e=3850000, p=1343700Pa, T= 3.4787467560E+03K, gamm-1= 2.7013380200E-01, Z= 1.0414749626E+00
e=3975000, p=1365011Pa, T= 3.5241689148E+03K, gamm-1= 2.6578867569E-01, Z= 1.0443567491E+00
e=4100000, p=1392141Pa, T= 3.5808762808E+03K, gamm-1= 2.6280699260E-01, Z= 1.0482465564E+00
e=4225000, p=1419095Pa, T= 3.6360177432E+03K, gamm-1= 2.5996945325E-01, Z= 1.0523374541E+00
e=4350000, p=1445916Pa, T= 3.6901301935E+03K, gamm-1= 2.5727128829E-01, Z= 1.0565033459E+00
e=4475000, p=1472644Pa, T= 3.7436262586E+03K, gamm-1= 2.5470778724E-01, Z= 1.0606565184E+00
e=4600000, p=1499317Pa, T= 3.7967340614E+03K, gamm-1= 2.5227432789E-01, Z= 1.0647623807E+00

Приложение 3

Результат работы программы при плотности равной 0, 1292 кг/м³ и энергиях от 225 000 до 4 600 000 Дж/кг.

e= 225000, p= 11570Pa, T= 3.1195568871E+02K, gamm-1= 3.9800000000E-01, Z= 1.0000107487E+00
e= 350000, p= 17998Pa, T= 4.8526440465E+02K, gamm-1= 3.9800000000E-01, Z= 1.0000107487E+00
e= 475000, p= 24190Pa, T= 8.2906082591E+02K, gamm-1= 3.9417224921E-01, Z= 7.8672916088E-01
e= 600000, p= 30032Pa, T= 1.0991532344E+03K, gamm-1= 3.8740514448E-01, Z= 7.3669950714E-01
e= 725000, p= 35627Pa, T= 1.3761496974E+03K, gamm-1= 3.8034439016E-01, Z= 6.9804164010E-01
e= 850000, p= 41023Pa, T= 1.6573239455E+03K, gamm-1= 3.7354313573E-01, Z= 6.6739702785E-01
e= 975000, p= 46263Pa, T= 1.9414883181E+03K, gamm-1= 3.6725758247E-01, Z= 6.4249920203E-01
e=1100000, p= 51385Pa, T= 2.2279998265E+03K, gamm-1= 3.6155865909E-01, Z= 6.2185379223E-01
e=1225000, p= 56406Pa, T= 2.5160506953E+03K, gamm-1= 3.5639215844E-01, Z= 6.0447289114E-01
e=1350000, p= 61330Pa, T= 2.8042273524E+03K, gamm-1= 3.5162125679E-01, Z= 5.8969528708E-01
e=1475000, p= 66140Pa, T= 3.0903707744E+03K, gamm-1= 3.4706599043E-01, Z= 5.7706598857E-01
e=1600000, p= 70810Pa, T= 3.3717505586E+03K, gamm-1= 3.4254303193E-01, Z= 5.6625450419E-01
e=1725000, p= 75308Pa, T= 3.6454841624E+03K, gamm-1= 3.3790143153E-01, Z= 5.5700090765E-01
e=1850000, p= 79605Pa, T= 3.9090432181E+03K, gamm-1= 3.3304680962E-01, Z= 5.4908366235E-01
e=1975000, p= 83683Pa, T= 4.1606604901E+03K, gamm-1= 3.2794883450E-01, Z= 5.4230411582E-01
e=2100000, p= 87537Pa, T= 4.3995124627E+03K, gamm-1= 3.2263273474E-01, Z= 5.3648200527E-01
e=2225000, p= 91174Pa, T= 2.4398315055E+03K, gamm-1= 3.1716090999E-01, Z= 1.0075853007E+00
e=2350000, p= 94612Pa, T= 2.5289620119E+03K, gamm-1= 3.1161237054E-01, Z= 1.0087237222E+00
e=2475000, p= 97871Pa, T= 2.6095296896E+03K, gamm-1= 3.0606582846E-01, Z= 1.0112529297E+00
e=2600000, p=100957Pa, T= 2.6827673798E+03K, gamm-1= 3.0053735783E-01, Z= 1.0146605668E+00
e=2725000, p=103910Pa, T= 2.7504823611E+03K, gamm-1= 2.9514066479E-01, Z= 1.0186352038E+00
e=2850000, p=106744Pa, T= 2.8135948192E+03K, gamm-1= 2.8989320683E-01, Z= 1.0229474651E+00
e=2975000, p=109474Pa, T= 2.8729141099E+03K, gamm-1= 2.8481316295E-01, Z= 1.0274397696E+00
e=3100000, p=112111Pa, T= 2.9291113340E+03K, gamm-1= 2.7991289601E-01, Z= 1.0320024056E+00
e=3225000, p=114668Pa, T= 2.9827476556E+03K, gamm-1= 2.7520036970E-01, Z= 1.0365594289E+00
e=3350000, p=117156Pa, T= 3.0342941242E+03K, gamm-1= 2.7068021277E-01, Z= 1.0410596825E+00
e=3475000, p=119585Pa, T= 3.0841428641E+03K, gamm-1= 2.6635452419E-01, Z= 1.0454719547E+00
e=3600000, p=121965Pa, T= 3.1326079098E+03K, gamm-1= 2.6222348659E-01, Z= 1.0497842090E+00
e=3725000, p=124305Pa, T= 3.1799121547E+03K, gamm-1= 2.5828583581E-01, Z= 1.0540075757E+00
e=3850000, p=126613Pa, T= 3.2261563848E+03K, gamm-1= 2.5453922226E-01, Z= 1.0581860070E+00
e=3975000, p=128896Pa, T= 3.2712725270E+03K, gamm-1= 2.5098048979E-01, Z= 1.0624105060E+00
e=4100000, p=131162Pa, T= 3.3149878925E+03K, gamm-1= 2.4760589120E-01, Z= 1.0668291437E+00
e=4225000, p=133417Pa, T= 3.3568784023E+03K, gamm-1= 2.4441125452E-01, Z= 1.0716285888E+00
e=4350000, p=135667Pa, T= 3.3966172735E+03K, gamm-1= 2.4139211064E-01, Z= 1.0769553615E+00
e=4475000, p=137919Pa, T= 3.4343780363E+03K, gamm-1= 2.3854378963E-01, Z= 1.0827920129E+00
e=4600000, p=140177Pa, T= 3.4710252890E+03K, gamm-1= 2.3586149078E-01, Z= 1.0889027149E+00

Приложение 4

Результат работы программы при плотности равной 0,01292 кг/м³ и энергиях от 225 000 до 4 600 000 Дж/кг.

e= 225000, p= 1157Pa, T= 3.1195568871E+02K, gamm-1= 3.9800000000E-01, Z= 1.0000107487E+00
e= 350000, p= 1800Pa, T= 4.8526440465E+02K, gamm-1= 3.9800000000E-01, Z= 1.0000107487E+00
e= 475000, p= 2416Pa, T= 1.0715373886E+03K, gamm-1= 3.9371463224E-01, Z= 6.0799474194E-01
e= 600000, p= 3001Pa, T= 1.5164215370E+03K, gamm-1= 3.8706809533E-01, Z= 5.3351995712E-01
e= 725000, p= 3562Pa, T= 1.9984073595E+03K, gamm-1= 3.8022700810E-01, Z= 4.8053932717E-01
e= 850000, p= 4104Pa, T= 2.5100630713E+03K, gamm-1= 3.7367091655E-01, Z= 4.4081420023E-01
e= 975000, p= 4631Pa, T= 3.0466364082E+03K, gamm-1= 3.6759672053E-01, Z= 4.0981476731E-01
e=1100000, p= 5145Pa, T= 3.6042202842E+03K, gamm-1= 3.6201876082E-01, Z= 3.8489690926E-01
e=1225000, p= 5648Pa, T= 4.1782602003E+03K, gamm-1= 3.5682835189E-01, Z= 3.6444495967E-01
e=1350000, p= 6137Pa, T= 4.7625970680E+03K, gamm-1= 3.5184150181E-01, Z= 3.4743133218E-01
e=1475000, p= 6610Pa, T= 5.3492572128E+03K, gamm-1= 3.4684624765E-01, Z= 3.3317125704E-01
e=1600000, p= 7063Pa, T= 5.9290724922E+03K, gamm-1= 3.4164958183E-01, Z= 3.2117823224E-01
e=1725000, p= 7491Pa, T= 6.4929392649E+03K, gamm-1= 3.3611636451E-01, Z= 3.1107807585E-01
e=1850000, p= 7892Pa, T= 7.0332524544E+03K, gamm-1= 3.3019091364E-01, Z= 3.0256077749E-01
e=1975000, p= 8265Pa, T= 7.5449802435E+03K, gamm-1= 3.2389679723E-01, Z= 2.9535724898E-01
e=2100000, p= 8609Pa, T= 8.0260454354E+03K, gamm-1= 3.1731834045E-01, Z= 2.8923100235E-01
e=2225000, p= 8928Pa, T= 8.4770144578E+03K, gamm-1= 3.1057314583E-01, Z= 2.8397687788E-01
e=2350000, p= 9224Pa, T= 2.4489705156E+03K, gamm-1= 3.0378549782E-01, Z= 1.0155079577E+00
e=2475000, p= 9499Pa, T= 2.5110598985E+03K, gamm-1= 2.9706696395E-01, Z= 1.0200101094E+00
e=2600000, p= 9751Pa, T= 2.5655836262E+03K, gamm-1= 2.9027234960E-01, Z= 1.0247662851E+00
e=2725000, p= 10000Pa, T= 2.6177989916E+03K, gamm-1= 2.8402423843E-01, Z= 1.0299534629E+00
e=2850000, p= 10237Pa, T= 2.6662903981E+03K, gamm-1= 2.7802183444E-01, Z= 1.0352573045E+00
e=2975000, p= 10465Pa, T= 2.7117152778E+03K, gamm-1= 2.7227258302E-01, Z= 1.0405879229E+00
e=3100000, p= 10685Pa, T= 2.7546193265E+03K, gamm-1= 2.6677963694E-01, Z= 1.0458870084E+00
e=3225000, p= 10898Pa, T= 2.7954609458E+03K, gamm-1= 2.6154300919E-01, Z= 1.0511178068E+00
e=3350000, p= 11104Pa, T= 2.8346296977E+03K, gamm-1= 2.5656042690E-01, Z= 1.0562582921E+00
e=3475000, p= 11306Pa, T= 2.8724601578E+03K, gamm-1= 2.5182796737E-01, Z= 1.0612965270E+00
e=3600000, p= 11504Pa, T= 2.9092420978E+03K, gamm-1= 2.4734053428E-01, Z= 1.0662275981E+00
e=3725000, p= 11699Pa, T= 2.9452275032E+03K, gamm-1= 2.4309221510E-01, Z= 1.0710517825E+00
e=3850000, p= 11892Pa, T= 2.9806344938E+03K, gamm-1= 2.3907655016E-01, Z= 1.0757738282E+00
e=3975000, p= 12084Pa, T= 3.0156476765E+03K, gamm-1= 2.3528673463E-01, Z= 1.0804034500E+00
e=4100000, p= 12274Pa, T= 3.0504137233E+03K, gamm-1= 2.3171576965E-01, Z= 1.0849574077E+00
e=4225000, p= 12465Pa, T= 3.0850299554E+03K, gamm-1= 2.2835657415E-01, Z= 1.0894638757E+00
e=4350000, p= 12657Pa, T= 3.1195226380E+03K, gamm-1= 2.2520206559E-01, Z= 1.0939701513E+00
e=4475000, p= 12850Pa, T= 3.1538116238E+03K, gamm-1= 2.2224521559E-01, Z= 1.0985547295E+00
e=4600000, p= 13044Pa, T= 3.1876630297E+03K, gamm-1= 2.1947908464E-01, Z= 1.1033430252E+00

Приложение 5

Результат работы программы при плотности равной 1,292 кг/м³ и энергиях от 26 000 000 до 60 000 000 Дж/кг.

e=26000000, p=5442428Pa, T= 9.0800379487E+03K, gamm-1= 1.6201558893E-01, Z= 1.6161232410E+00
e=27000000, p=5611252Pa, T= 9.2102558075E+03K, gamm-1= 1.6085461797E-01, Z= 1.6426974870E+00
e=28000000, p=5783733Pa, T= 9.3394191821E+03K, gamm-1= 1.5987762881E-01, Z= 1.6697745948E+00
e=29000000, p=5960164Pa, T= 9.4683741380E+03K, gamm-1= 1.5907345476E-01, Z= 1.6972752885E+00
e=30000000, p=6140814Pa, T= 9.5988325573E+03K, gamm-1= 1.5843173119E-01, Z= 1.7249519193E+00
e=31000000, p=6325926Pa, T= 9.7345601303E+03K, gamm-1= 1.5794283634E-01, Z= 1.7521742035E+00
e=32000000, p=6515725Pa, T= 9.8829239245E+03K, gamm-1= 1.5759783454E-01, Z= 1.7776520556E+00
e=33000000, p=6710413Pa, T= 1.0053221404E+04K, gamm-1= 1.5738842259E-01, Z= 1.7997553075E+00
e=34000000, p=6910177Pa, T= 1.0246669346E+04K, gamm-1= 1.5730687945E-01, Z= 1.8183433748E+00
e=35000000, p=7115187Pa, T= 1.0451024776E+04K, gamm-1= 1.5734601935E-01, Z= 1.8356797408E+00
e=36000000, p=7325600Pa, T= 1.0655021317E+04K, gamm-1= 1.5749914789E-01, Z= 1.8537807749E+00
e=37000000, p=7541560Pa, T= 1.0857509609E+04K, gamm-1= 1.5776002040E-01, Z= 1.8728389935E+00
e=38000000, p=7763197Pa, T= 1.1061969112E+04K, gamm-1= 1.5812280060E-01, Z= 1.8922461944E+00
e=39000000, p=7990631Pa, T= 1.1271548074E+04K, gamm-1= 1.5858201642E-01, Z= 1.9114676954E+00
e=40000000, p=8223968Pa, T= 1.1488047166E+04K, gamm-1= 1.5913250717E-01, Z= 1.9302105018E+00
e=41000000, p=8463302Pa, T= 1.1712258612E+04K, gamm-1= 1.5976935099E-01, Z= 1.9483575649E+00
e=42000000, p=8708708Pa, T= 1.1944378322E+04K, gamm-1= 1.6048775475E-01, Z= 1.9658918788E+00
e=43000000, p=8960231Pa, T= 1.2184260097E+04K, gamm-1= 1.6128287616E-01, Z= 1.9828485383E+00
e=44000000, p=9217877Pa, T= 1.2431540741E+04K, gamm-1= 1.6214953168E-01, Z= 1.9992882112E+00
e=45000000, p=9481571Pa, T= 1.2685683119E+04K, gamm-1= 1.6308171888E-01, Z= 2.0152824499E+00
e=46000000, p=9751118Pa, T= 1.2945963602E+04K, gamm-1= 1.6407184750E-01, Z= 2.0309045194E+00
e=47000000, p=10026111Pa, T= 1.3211412085E+04K, gamm-1= 1.6510952382E-01, Z= 2.0462219133E+00
e=48000000, p=10305800Pa, T= 1.3480701384E+04K, gamm-1= 1.6617969280E-01, Z= 2.0612880625E+00
e=49000000, p=10588902Pa, T= 1.3751988130E+04K, gamm-1= 1.6726009859E-01, Z= 2.0761318319E+00
e=50000000, p=10873416Pa, T= 1.4022775266E+04K, gamm-1= 1.6831914083E-01, Z= 2.0907471991E+00
e=51000000, p=11156754Pa, T= 1.4290094323E+04K, gamm-1= 1.6931879674E-01, Z= 2.1050976275E+00
e=52000000, p=11436791Pa, T= 1.4551543790E+04K, gamm-1= 1.7023086702E-01, Z= 2.1191640201E+00
e=53000000, p=11713527Pa, T= 1.4806818100E+04K, gamm-1= 1.7106032104E-01, Z= 2.1330223142E+00
e=54000000, p=11988795Pa, T= 1.5057324868E+04K, gamm-1= 1.7183801981E-01, Z= 2.1468276803E+00
e=55000000, p=12263472Pa, T= 1.5303569691E+04K, gamm-1= 1.7257911861E-01, Z= 2.1606786375E+00
e=56000000, p=12536217Pa, T= 1.5544102380E+04K, gamm-1= 1.7326704101E-01, Z= 2.1745546432E+00
e=57000000, p=12804664Pa, T= 1.5776707010E+04K, gamm-1= 1.7387246754E-01, Z= 2.1883727613E+00
e=58000000, p=13066624Pa, T= 1.5999503578E+04K, gamm-1= 1.7437044963E-01, Z= 2.2020458667E+00
e=59000000, p=13320440Pa, T= 1.6211234069E+04K, gamm-1= 1.7474470735E-01, Z= 2.2155010158E+00
e=60000000, p=13564920Pa, T= 1.6411164523E+04K, gamm-1= 1.7498606676E-01, Z= 2.2286779078E+00

Результат работы программы при плотности равной 0,1292 кг/м³ и энергиях от 26 000 000 до 60 000 000 Дж/кг.

e=26000000, p=487221Pa, T= 7.8509770393E+03K, gamm-1= 1.4504066290E-01, Z= 1.6732907270E+00
e=27000000, p=502230Pa, T= 7.9706389343E+03K, gamm-1= 1.4397145517E-01, Z= 1.6989437875E+00
e=28000000, p=517601Pa, T= 8.0953937484E+03K, gamm-1= 1.4307854548E-01, Z= 1.7239575127E+00
e=29000000, p=533293Pa, T= 8.2251559525E+03K, gamm-1= 1.4233291672E-01, Z= 1.7482003124E+00
e=30000000, p=549202Pa, T= 8.3582247607E+03K, gamm-1= 1.4169298795E-01, Z= 1.7716892715E+00
e=31000000, p=565141Pa, T= 8.4890565854E+03K, gamm-1= 1.4110177588E-01, Z= 1.7950094226E+00
e=32000000, p=580878Pa, T= 8.6041484379E+03K, gamm-1= 1.4049868273E-01, Z= 1.8203140625E+00
e=33000000, p=596371Pa, T= 8.6781858107E+03K, gamm-1= 1.3987489552E-01, Z= 1.8529203793E+00
e=34000000, p=612295Pa, T= 8.6806539790E+03K, gamm-1= 1.3938594485E-01, Z= 1.9018551761E+00
e=35000000, p=630269Pa, T= 8.6255811447E+03K, gamm-1= 1.3937835509E-01, Z= 1.9701849698E+00
e=36000000, p=651598Pa, T= 8.6496537749E+03K, gamm-1= 1.4009241318E-01, Z= 2.0311892091E+00
e=37000000, p=675818Pa, T= 8.8234408632E+03K, gamm-1= 1.4137279188E-01, Z= 2.0651973878E+00
e=38000000, p=701453Pa, T= 9.0652343534E+03K, gamm-1= 1.4287383821E-01, Z= 2.0863600597E+00
e=39000000, p=727363Pa, T= 9.3177670054E+03K, gamm-1= 1.4435242479E-01, Z= 2.1047902898E+00
e=40000000, p=753019Pa, T= 9.5638506579E+03K, gamm-1= 1.4570807941E-01, Z= 2.1229649634E+00
e=41000000, p=778251Pa, T= 9.7997800425E+03K, gamm-1= 1.4691741051E-01, Z= 2.1412766510E+00
e=42000000, p=803028Pa, T= 1.0025335504E+04K, gamm-1= 1.4798549200E-01, Z= 2.1597401561E+00
e=43000000, p=827368Pa, T= 1.0241109264E+04K, gamm-1= 1.4892499017E-01, Z= 2.1783167128E+00
e=44000000, p=851294Pa, T= 1.0447821949E+04K, gamm-1= 1.4974921120E-01, Z= 2.1969665506E+00
e=45000000, p=874834Pa, T= 1.0646158443E+04K, gamm-1= 1.5047028464E-01, Z= 2.2156559249E+00
e=46000000, p=898011Pa, T= 1.0836738615E+04K, gamm-1= 1.5109893093E-01, Z= 2.2343572462E+00
e=47000000, p=920847Pa, T= 1.1020120508E+04K, gamm-1= 1.5164462214E-01, Z= 2.2530483679E+00
e=48000000, p=943361Pa, T= 1.1196808975E+04K, gamm-1= 1.5211578670E-01, Z= 2.2717118521E+00
e=49000000, p=965573Pa, T= 1.1367263552E+04K, gamm-1= 1.5251997945E-01, Z= 2.2903342962E+00
e=50000000, p=987502Pa, T= 1.1531904625E+04K, gamm-1= 1.5286401128E-01, Z= 2.3089057307E+00
e=51000000, p=1009163Pa, T= 1.1691118189E+04K, gamm-1= 1.5315404700E-01, Z= 2.3274190782E+00
e=52000000, p=1030574Pa, T= 1.2888013108E+04K, gamm-1= 1.5339568314E-01, Z= 2.1560682286E+00
e=53000000, p=1051750Pa, T= 1.3066313714E+04K, gamm-1= 1.5359401060E-01, Z= 2.1703464071E+00
e=54000000, p=1072709Pa, T= 1.3237662794E+04K, gamm-1= 1.5375366732E-01, Z= 2.1849420190E+00
e=55000000, p=1093463Pa, T= 1.3402623333E+04K, gamm-1= 1.5387888383E-01, Z= 2.1998035177E+00
e=56000000, p=1114029Pa, T= 1.3561710693E+04K, gamm-1= 1.5397352285E-01, Z= 2.2148870578E+00
e=57000000, p=1134420Pa, T= 1.3715397222E+04K, gamm-1= 1.5404111414E-01, Z= 2.2301552870E+00
e=58000000, p=1154650Pa, T= 1.3864116437E+04K, gamm-1= 1.5408488560E-01, Z= 2.2455763425E+00
e=59000000, p=1174733Pa, T= 1.4008266778E+04K, gamm-1= 1.5410779104E-01, Z= 2.2611230155E+00
e=60000000, p=1194680Pa, T= 1.4148215023E+04K, gamm-1= 1.5411253537E-01, Z= 2.2767720519E+00

Приложение 7

Результат работы программы при плотности равной 0,01292 кг/м³ и энергиях от 26 000 000 до 60 000 000 Дж/кг.

e=26000000, p= 43563Pa, T= 6.8815415473E+03K, gamm-1= 1.2968339048E-01, Z= 1.7068837963E+00
e=27000000, p= 44867Pa, T= 6.9766392355E+03K, gamm-1= 1.2861780577E-01, Z= 1.7340059442E+00
e=28000000, p= 46212Pa, T= 7.0765992353E+03K, gamm-1= 1.2774203630E-01, Z= 1.7607563066E+00
e=29000000, p= 47598Pa, T= 7.1820028343E+03K, gamm-1= 1.2703649589E-01, Z= 1.7869521328E+00
e=30000000, p= 49024Pa, T= 7.2932437277E+03K, gamm-1= 1.2648113230E-01, Z= 1.8124175547E+00
e=31000000, p= 50490Pa, T= 7.4104567943E+03K, gamm-1= 1.2606226319E-01, Z= 1.8371042489E+00
e=32000000, p= 52008Pa, T= 7.5333542343E+03K, gamm-1= 1.2579262496E-01, Z= 1.8614387751E+00
e=33000000, p= 53615Pa, T= 7.6595926760E+03K, gamm-1= 1.2575046356E-01, Z= 1.8873387074E+00
e=34000000, p= 55397Pa, T= 7.7726712682E+03K, gamm-1= 1.2610903685E-01, Z= 1.9217054113E+00
e=35000000, p= 57452Pa, T= 7.7949625636E+03K, gamm-1= 1.2704945906E-01, Z= 1.9872788863E+00
e=36000000, p= 59781Pa, T= 7.6451387748E+03K, gamm-1= 1.2852795425E-01, Z= 2.1083694282E+00
e=37000000, p= 62253Pa, T= 7.5930452835E+03K, gamm-1= 1.3022613852E-01, Z= 2.2106291105E+00
e=38000000, p= 64722Pa, T= 7.7268072575E+03K, gamm-1= 1.3182719474E-01, Z= 2.2585021878E+00
e=39000000, p= 67115Pa, T= 7.9131405855E+03K, gamm-1= 1.3319605665E-01, Z= 2.2868573796E+00
e=40000000, p= 69421Pa, T= 8.1004479334E+03K, gamm-1= 1.3432791001E-01, Z= 2.3107299942E+00
e=41000000, p= 71650Pa, T= 8.2786657269E+03K, gamm-1= 1.3525978179E-01, Z= 2.3335879826E+00
e=42000000, p= 73815Pa, T= 8.4469509021E+03K, gamm-1= 1.3602955120E-01, Z= 2.3562131385E+00
e=43000000, p= 75926Pa, T= 8.6060821949E+03K, gamm-1= 1.3666637654E-01, Z= 2.3787928999E+00
e=44000000, p= 77991Pa, T= 8.7569600980E+03K, gamm-1= 1.3719146093E-01, Z= 2.4013660927E+00
e=45000000, p= 80013Pa, T= 8.9003627774E+03K, gamm-1= 1.3762052651E-01, Z= 2.4239296305E+00
e=46000000, p= 81996Pa, T= 9.0369428718E+03K, gamm-1= 1.3796578087E-01, Z= 2.4464687111E+00
e=47000000, p= 83943Pa, T= 9.1672574945E+03K, gamm-1= 1.3823716836E-01, Z= 2.4689667684E+00
e=48000000, p= 85857Pa, T= 9.2917932797E+03K, gamm-1= 1.3844310938E-01, Z= 2.4914090092E+00
e=49000000, p= 87739Pa, T= 9.4109830773E+03K, gamm-1= 1.3859093056E-01, Z= 2.5137835849E+00
e=50000000, p= 89592Pa, T= 9.5252166878E+03K, gamm-1= 1.3868712093E-01, Z= 2.5360818170E+00
e=51000000, p= 91417Pa, T= 9.6348479662E+03K, gamm-1= 1.3873749126E-01, Z= 2.5582980198E+00
e=52000000, p= 93216Pa, T= 9.7401998089E+03K, gamm-1= 1.3874728071E-01, Z= 2.5804291862E+00
e=53000000, p= 94991Pa, T= 9.8415678694E+03K, gamm-1= 1.3872123266E-01, Z= 2.6024746305E+00
e=54000000, p= 96743Pa, T= 9.9392235227E+03K, gamm-1= 1.3866365352E-01, Z= 2.6244356510E+00
e=55000000, p= 98474Pa, T= 1.0033416297E+04K, gamm-1= 1.3857845950E-01, Z= 2.6463152183E+00
e=56000000, p=100185Pa, T= 1.0124375981E+04K, gamm-1= 1.3846921672E-01, Z= 2.6681177084E+00
e=57000000, p=101879Pa, T= 1.2043605571E+04K, gamm-1= 1.3833917558E-01, Z= 2.2808435807E+00
e=58000000, p=103555Pa, T= 1.2152591399E+04K, gamm-1= 1.3819130064E-01, Z= 2.2975860698E+00
e=59000000, p=105216Pa, T= 1.2257952060E+04K, gamm-1= 1.3802829752E-01, Z= 2.3143775719E+00
e=60000000, p=106863Pa, T= 1.2359985430E+04K, gamm-1= 1.3785263684E-01, Z= 2.3312044146E+00