

Министерство высшего и среднего специального
образования Республики Узбекистан
Ташкентский государственный технический университет
имени Абу Райхана Беруни

Составители: М.А.Короли, А.И.Анарбаев

Методические указания к лабораторным работам по курсу
«Математическое моделирование и алгоритмизация задач
теплоэнергетики», Ташкент, ТашГТУ, 2005, 30 с.

Электронные таблицы EXCEL позволяют специалистам
в конкретной научно-технической области быстро освоить
работу на компьютере и реализовать на них математические
модели, не вдаваясь в тонкости программирования. В данных
методических указаниях дано решение задач по теплотехнике в
этой среде.

Методическая разработка предназначена для
студентов всех факультетов технических вузов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам для магистров по курсу

«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ»

Кафедра «Теоретические основы теплотехники»

Печатается по решению научно-методического совета
Ташкентского государственного технического
университета имени Абу Райхана Беруни

Рецензенты:
зав.лаб “Селективные
покрытия и солнечно-
тепловые установки”
Физико-технического
института, проф.
к.т.н., доцент кафедры
ТОТ ТашГТУ

Р.Р.Авезов

Л.Н.Тактаева

Ташкент-2005

ВВЕДЕНИЕ

В любой сфере человеческой деятельности – в науке, технике, производстве – методы и средства компьютерных технологий направлены на повышение производительности труда. В этой связи уровень специалистов в существенной мере определяется их подготовкой в использовании ЭВМ для автоматизированного проектирования и научных исследований.

Данная работа выполнена для повышения качества знаний при изучении дисциплины “Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики”. Метод математического моделирования является методом научного исследования, который с одной стороны, описывает все основные связи, характеризующие изучаемое явление, с другой стороны, развивает внутреннюю математическую логику изучаемых явлений, позволяя тем самым находить качественно новые связи и закономерности.

Математическое моделирование, основанное на использовании ЭВМ, позволит по-новому ставить и исследовать многие научные и практические задачи и открывать новые закономерности, в том числе и в энергетике.

Представленный материал является первым этапом в использовании метода математического моделирования и носит методический характер. В ней представлены основные рекомендации работы в среде Excel. К рассматриваемым задачам предложены алгоритмы, программы и примеры решения по основным разделам курса “Теоретические основы теплотехники”. Следующий этап работы будет посвящен рассмотрению методов математического моделирования при решении сложных задач в области теплоэнергетики.

Надеемся, что методические указания будут иметь определенный практический интерес, т.к. в ней впервые даются алгоритмы и программы для решения характерных энергетических задач.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ В СРЕДЕ EXCEL

В настоящее время для рутинных расчетов на компьютере все чаще используются не традиционные языки программирования (BASIC, Pascal, C, FORTRAN), а электронные таблицы Excel, которые задумывались как средство работы на компьютере пользователей, не владевших языками программирования при решении финансовых, научно-технических и прочих прикладных задач (программирование без программирования).

Технология работы в среде Excel состоит в следующем. На экране дисплея перед глазами пользователя рабочий лист, который разлинован на столбцы и строки, пересечение которых ячейка – то место, куда пользователь должен заносить текст, число, формулу, математические выражения и комментарии к ним. В этом главное преимущество Excel по сравнению с традиционными языками программирования, где сама программа (математические формулы) и протокол её работы (результаты вычислений), как правило, разделены во времени и пространстве.

В среде Excel процесс создания «программы» идёт параллельно с её отладкой и оптимизацией. Отладочные фрагменты можно оставить в готовой таблице, чтобы убедиться в правильности хода решения задачи. Такая открытость алгоритма (совмещение на одном листе и формул, и результатов) особенно полезна в учебном процессе.

1. Решение любой задачи в любой программной среде начинается с ввода исходных данных.

Ячейка электронной таблицы имеет определенный формат хранимой информации и может быть отформатирована для хранения числового и денежного значения, текста, календарной даты, времени и всего другого. Форматирование производится для данной ячейки вызовом-нажатием на правую кнопку мыши контекстного меню и выбором последовательно подменю **Формат ячеек** и вкладки **Число**.

В среде Excel не ведется контроль размерностей.

2. В ячейке математического выражения вначале вводится символ «=».

Достаточно увести курсор с введенного выражения и сразу будет получен результат вычислений вместо математического выражения в той же ячейки, где была введена соответствующая формула.

3. В Excel встроено большое число математических операторов и функций, знание которых пользователем во многом определяет успех в решении задач. Со встроенными функциями помогает работать **Мастер функций**. При запуске этой программы из пользовательской панели инструментов над рабочим листом выходят окна, в которых предусмотрено деление функций по категориям, список пользовательских функций, автоматическая вставка аргументов.

4. В режиме умолчания ссылка в вводимых формулах на данные, хранящиеся в той или иной ячейке, возможна по её адресу, например, A3. Добавление символа «\$» перед буквенным и цифровым обозначением в адресе исключает изменение ссылки при копировании формулы из данной ячейки в расположенные рядом.

Возможно присвоение конкретной ячейке имени переменной значения. Для этого при расположении рамки курсора на ячейке в левом окне строки состояния вводится вместо адреса имя переменной и нажимается клавиша “ENTER”.

5. Строка состояния позволяет редактировать формулу. В случае неправильного ввода формулы вместо полученного результата в ячейке появляется сообщение об ошибке.

6. Графики помогает создавать **Мастер диаграмм**. Сначала выделяется область значений, которая включает строки изменяющихся аргументов и значений. После этого запускается нажатием на иконку **Мастер диаграмм** из пользовательской панели инструментов. Затем пошагово высвечиваются окна, в которых последовательно производится выбор диаграммы и необходимых её атрибутов.

7. В случаях, когда необходимо найти решение задачи методом приближенных вычислений, что требует произвольного задания исходной величины и неоднократного повтора вычислений одних и тех же формул до получения необходимой сходимости значений,

средства Excel позволяют проводить автоматический поиск решения. Для этого в меню **Сервис** производится выбор подменю **Надстройки** и выделяется галочкой инструмент **Поиск решения**, который и выводится затем в качестве подменю в меню **Сервис**. При её запуске в дальнейшем появляется окно, в котором устанавливается адрес целевой ячейки с математическим выражением, подлежащим приведению к 0 путём изменения значения в ячейке с исходным задаваемым значением. При нажатии в данном окне **Выполнить** программа производит подбор значений в указанных ячейках до выполнения условия сходимости.

8. Если требуется дополнить условие задачи рисунком, то используются инструменты панели рисования, расположенной внизу рабочего листа. При этом применяются различные типы линий, фигур, надписей, выносок, которые по окончании объединяются с помощью подменю **Группировать** из меню **Действия** на панели рисования.

2. ЗАДАЧИ ПО ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

2.1. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

Задача 1-6. Вычислить и изобразить графики в масштабе распределения температуры в стенке.

Алгоритм решения:

1. Плотность теплового потока:

$$q = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{\delta} (t_{c_1} - t_{c_2}) \quad [\text{Вт/м}^2]$$

где $\lambda_{\text{ср}} = \lambda_0 \left(1 + \beta_\lambda \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{2}\right) \quad [^\circ\text{C}]$

2. Температура на любом расстоянии x от поверхности стенки

$$t_x = \sqrt{\left(\frac{1}{\beta_\lambda} + t_{c_1}\right)^2 - \frac{2qx}{\lambda_0 \beta_\lambda}} - \frac{1}{\beta_\lambda}$$

Задача 1-20. Определить потери теплоты с одного квадратного метра поверхности и температуры на внешних поверхностях стены печи из шамотного кирпича при известных температурах газа в печи и воздуха в помещении и коэффициента теплоотдачи. Для решения задачи использован метод последовательных приближений.

Алгоритм решения:

1. Задаемся средней температурой стенки $\bar{t}_c = 650 \text{ }^\circ\text{C}$;

2. Определяем значение коэффициентов теплопроводности шамотного кирпича:

$$\lambda_{\text{ср}} = 0,84(1 + 0,695 \cdot 10^{-3} \cdot \bar{t}_c)$$

3. Вычисляем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{C}]$$

4. Определяем плотность теплового потока:

$$q = K (t_{\text{ж}_1} - t_{\text{ж}_2}) \quad [\text{Вт/м}^2]$$

5. Вычисляем температуры на поверхностях стенки:

$$t_{c_1} = t_{\text{ж}_1} - q \frac{1}{\alpha_1} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$t_{c_2} = t_{\text{ж}_2} + q \frac{1}{\alpha_2} \quad [^\circ\text{C}]$$

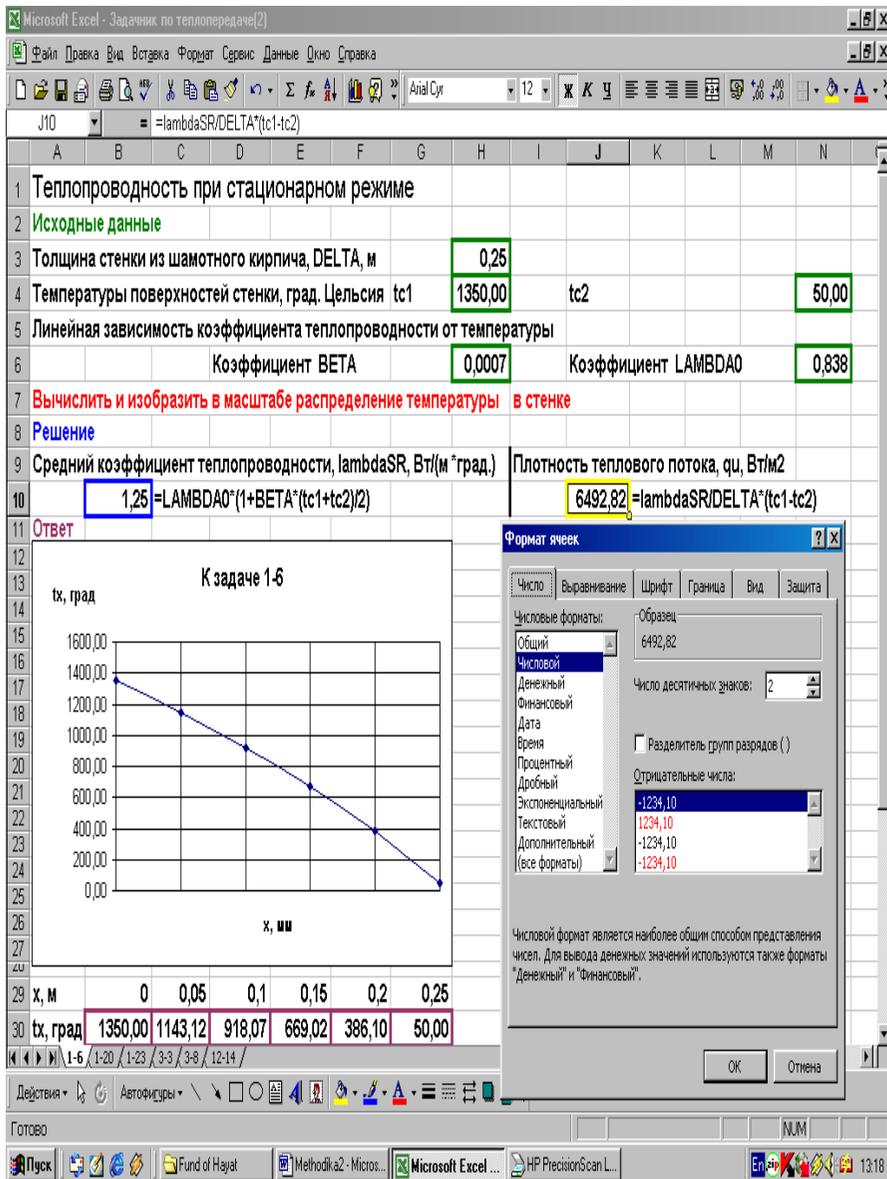
6. Определяем среднюю температуру стенки

$$\bar{t}_c' = 0,5 (t_{c_1} + t_{c_2})$$

7. Уточняем значение коэффициента теплопроводности:

$$\lambda_{\text{ср}} = 0,84(1 + 0,695 \cdot 10^{-3} \cdot \bar{t}_c')$$

Далее расчет повторяется по той же схеме до тех пор, пока полученное среднее значение коэффициента теплопроводности практически совпадает с принятым ранее значением.



2.2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Задача 12-14. Определить необходимую площадь поверхности нагревателя, высоту труб в одном ходе и количество труб, расположенных вдоль и поперек потока воздуха в трубчатом воздухоподогревателе парового котла.

Алгоритм решения:

1. Определяем среднеарифметическую температуру воздуха в воздухоподогревателе

$$t_{ж_2} = 0,5 (t'_{ж_2} + t''_{ж_2}) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

2. Вычисляем количество передаваемой теплоты:

$$Q = G_2 C_{p_{ж_2}} (t'_{ж_2} + t''_{ж_2}) \quad [\text{Вт}]$$

3. Определяем температуру газов на выходе из воздухоподогревателя:

$$t''_{ж_2} = t'_{ж_2} - \frac{Q}{GC_{p_{ж_2}}} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

4. Находим среднеарифметическую температуру воздуха в воздухоподогревателе:

$$t_{ж_1} = 0,5 (t'_{ж_1} + t''_{ж_1}) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

5. Число Рейнольдса для потока газов:

$$Re_{ж_1} = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_{ж_1}}$$

6. Критерий Нуссельта:

$$Nu_{ж_1} = 0,021 Re_{ж_1}^{0,8} Pr_{ж_1}^{0,43}$$

7. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенкам труб

$$\alpha_1 = Nu_{ж_1} \frac{\lambda_{ж_1}}{d_1} \quad [\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}]$$

8. Число Рейнольдса для потока воздуха

$$Re_{ж_2} = \frac{\omega_2 d_2}{\nu_{ж_2}}$$

9. Критерий Нуссельта:

ПРОГРАММА

$$Nu_{ж_2} = 0,41 Re_{ж_2}^{0,6} Pr_{ж_2}^{0,33} \epsilon_s$$

10. Вычисляем коэффициент теплоотдачи от стенок труб к воздуху при поперечном потоке:

$$\alpha_2 = Nu_{ж_2} \frac{\lambda_{ж_2}}{d_2} \quad [Вт/м^2 \text{ } ^\circ C]$$

11. Определяем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [Вт/м^2 \text{ } ^\circ C]$$

12. Определяем температурный напор:

$$\Delta t_{прот} = t_{ж_1} + t_{ж_2} \quad [^\circ C]$$

13. Площадь поверхности нагрева воздухоподогревателя:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t} \quad [м^2]$$

14. Находим общее число труб:

$$n = \frac{4G_1}{\rho_{ж_1} \pi d_1^2 \omega_1} \quad [шт]$$

15. Вычисляем высоту труб в одном ходе:

$$l_1 = \frac{F}{2\pi d_1 n} \quad [м]$$

16. Определяем площадь живого сечения для прохода воздуха:

$$f = \frac{G_2}{\rho_{ж_2} \omega_2} \quad [м^2]$$

17. Вычисляем число труб, расположенных поперек потока

$$n = \frac{f}{l_1(S_1 - d_2)} \quad [шт]$$

18. Вычисляем число труб, расположенных вдоль потока

$$n_2 = \frac{n}{n_1} \quad [шт]$$

Исходные данные									
1	Тепловой расчет теплообменных аппаратов								
2	Количество воздуха, Гв, кг/с	21,5							
3	Начальная температура нагрева, t'j2, град. Цельс	_tj2 30							
4	Конечная температура нагрева, t''j2, град. Цельс	_tj2 260							
5	Количество дымовых газов (13% CO2, 11% H2O), Гдг, кг/с	19,6							
6	Козффициент теплопередачи стальных труб, Lambdaс, Вт/(м^2град.)	46,5							
7	Толщина стальных труб, Deltac, м	1,500E-03							
8	Диаметры стальных труб, м	d1с	0,050						
9		d2с	0,053						
10	Средняя скорость движения газов в трубах, v1, м/с	14							
11	Средняя скорость движения воздуха поперек труб, v2, м/с	8							
12	Температура газов на входе, t'j1, град. Цельсия	_tj1 380							
13	Шаг расположения труб, м	s1	0,065	s2	0,069				
14	Определить необходимую площадь нагрева F, высоту труб в 1 ходе l1, количество труб поперек n1 и вдоль потока n2								
15	Решену	Среднеарифметическая температура воздуха, tj2, град.	145 = (t'j2 + t''j2) / 2						
16	Введем из таблицы по данной температуре физические свойства воздуха:	Lambdaaj2, Вт/м^2град	3,52E-02						
17	Roj2, кг/м3	0,844	Vij2, м/с	2,83E-05					
18	Срj2, кДж/(кг^град)	1,01	Prj2	0,684					
19	Количество передаваемой теплоты, Qq, кВт	4994 = Gв * Срj2 * (tj2 - t'j2)							
20	Определение температуры газов на выходе t'j1 методом последовательных приближений								
21	Принять в первом приближении t'j1	300	Определить для 2-го приближения	Срj2 газов, кДж	1,11				
22	Определить	Срj2г газов, кДж/(кг^град)	1,12	Температура газов на выходе, t2j1, град. Цельс	150 = t'j1 - Qq / (Gдг * Срj2)				
23	Температура газов на выходе, t2j1, град	152	Среднеарифметическая температура газов,	265 = (t'j1 + t2j1) / 2					
24	Среднеарифметическая температура газов	266 окончательное приближение							
25	при втором приближении, t'j1(2), град.								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
37	Определить из таблиц по данной температуре							Roj1, кг/м3					0,622		
38	физические свойства дымовых газов:							Срj1, кДж/(кг*град)					1,11		
39								Lambdaj1, Вт/м*град)					4,54E-02		
40								Vij1, м2/с					4,12E-05		
41								Prj1					0,660		
42	Число Рейнольдса для потока газов, Rej1							Число Рейнольдса для потока воздуха, Rej2							
43	16990 = v1*v^d1*c/vij1							14982 = v2*v^d2*c/vij2							
44	Число Нуссельта, Nuj1							Число Нуссельта, Nuj2							
45	42,5 = 0,021*Rej1^0,8*Prj1^0,43							114,4 = 0,41*Rej2^0,6*Prj1^0,33							
46	Кэффициент теплоотдачи от газов к стенкам труб, Alf1							Кэффициент теплоотдачи от стенок труб к воздуху, Alf2							
47	38,6 = Nuj1*Lambdaj1/d1*c							76,0 = Nuj2*Lambdaj2/d2*c							
48	Кэффициент теплопередачи, kc, Вт/(м2*град.)							25,59							
49	Средний температурный напор, deltaTnp, град. Цельсия							117,78							
50	Для рассматриваемой схемы движения теплоносителей (см. рисунок)														
51	R= 0,66 = (t2j2-t1j2)/(t1j1-t1j2)							R= 0,99 = (t1j1-t2j1)/(t2j2-t1j2)							
52	Выбрать из рис. П-4 приложения, EPSILON							0,88							
53	Уточненный средн.температурн.напор, deltaT,град.Цельс							103,65 = deltaTnp*EPSILON							
54	ОТВЕТ														
55	Поверхность нагрева воздухоподогревателя, F, м2							1657,15 = Qq*1000/(kc*deltaT)							
56	Общее число труб, n							1146,91 = 4*Gдр/(3,14*Roj1*v1*v^d1*c^2)							
57	Высота труб в одном ходе, l1, м							4,60 = F/(2*3,14*d1*c*n)							
58	Площадь живого сечения для прохода воздуха, f, м2							2,90 = Gдр/(Roj2*v2v)							
59	Число труб, расположенных поперек потока, n1							52,57 = fff/(l1*(s1s-d2c))							
60	Число труб, расположенных вдоль потока, n2							21,82 = n1/n1n							

Задача 3-3. На паропроводе перегретого пара установлена измерительная диафрагма, которая должна быть протарирована, т.е. найдена зависимость $\Delta P = f(G)$ перепада давлений от расхода пара. Тарировка выполнена на образце (модели) в 1/5 натуральной величины. Найти зависимость $\Delta P = f(G)$ для образца и указать границы ее применения при известных давлении и температуре пара.

Алгоритм решения:

Обработку опытных данных производим в критериях подобия и строим зависимость $Eu = f(Re)$ (Eu – критерий Эйлера, Re – число Рейнольдса).

Для определения зависимости $Eu = f(Re)$ вычисления значений критериев производятся в следующей последовательности:

1. Критерий Эйлера:

$$Eu = \frac{\Delta P_m}{\rho_m \omega_m^2},$$

учитывая, что скорость

$$\omega_m = \frac{4G_m}{\rho_m \pi d_m^2},$$

$$Eu = \frac{\Delta P_m}{\rho_m} \left(\frac{\rho_m \pi d_m^2}{4G_m} \right)^2.$$

2. Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_m d_m}{\nu_m} = \frac{4G_m}{\rho_m \nu_m \pi d_m}$$

3. По данным Eu и Re строим график зависимости $Eu = f(Re)$ и определяем автомодельную область.

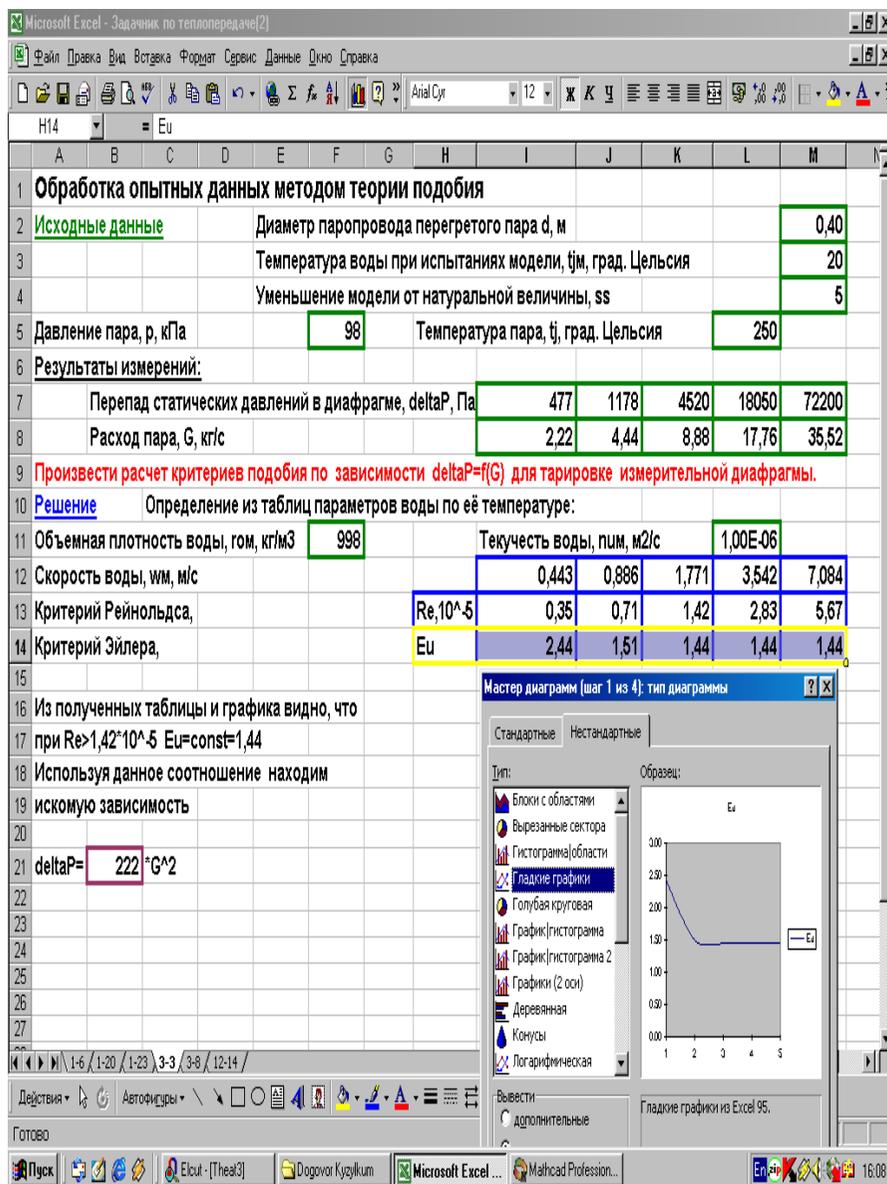
4. Определяем искомую зависимость

$$\Delta P = Eu \rho \omega^2,$$

причем скорость выражаем через расход:

$$\omega = \frac{G_v}{0,785d^2}$$

ПРОГРАММА



3. ЗАДАЧИ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Задача 107. В закрытом сосуде объемом $V= 300$ л находится воздух при давлении $p_1 = 0,8$ МПа и температуре $t_1 = 20$ °С.

Какое количество теплоты необходимо подвести для того, чтобы температура воздуха поднялась до $t_2 = 120$ °С? Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, а также учитывая зависимость теплоемкости от температуры. Определить относительную ошибку, получаемую в первом случае.

Алгоритм решения:

1. Пользуясь уравнением состояния, определяем массу воздуха, находящегося в сосуде:

$$M = \frac{V p}{RT} \quad [\text{кг}].$$

2. Для двухатомных газов, считая теплоемкость величиной постоянной, имея $\mu c_v = 20,93$ кДж/(кмоль·К); вычисляем теплоемкость воздуха

$$c_v = \frac{\mu c_v}{\mu} \quad [\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})].$$

3. Количество подведенной теплоты

$$Q = M c_v (t_2 - t_1) \quad [\text{кДж}].$$

4. Теплоемкость воздуха с учетом ее зависимости от температуры из табл. XII [3]. При необходимости пользуемся интерполяцией, находим c_v . [кДж/(кг·К)].

5. Вычисляем относительную ошибку

$$\frac{c_v - c_v'}{c_v'} \cdot 100 \quad .$$

Незначительная величина ошибки объясняется малым интервалом температур. При большой разности температур относительная ошибка может достигнуть весьма большой величины.

ПРОГРАММА

Microsoft Excel - Задачи по термодинамике	
E7 =	
A	B
1	Теплоемкость газов
2	В закрытом сосуде объемом V находится воздух при давлении p1 и температуре t1
3	Определить:
4	1. Какое количество теплоты Q необходимо, чтобы температура воздуха поднялась до t2?
5	2. Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, учитывая зависимость теплоемкости от температуры.
6	Определить относительную ошибку, получаемую в первом случае.
7	Исходные данные
8	V 0,3 м3
9	p1 0,3 МПа
10	t1 20 C
11	t2 120 C
12	Табличные данные
13	Введите значения газовой постоянной и молекулярной массы (табл. IV, с. 318)
14	R 287 кДж/(кг·К)
15	mu 28,96
16	Для двухатомных газов, считая теплоемкость величиной постоянной, табл. 3, с. 38
17	mu·cv 20,93 кДж/(кмоль·К)
18	Теплоемкость воздуха с учетом её зависимости от температуры, Формулы в ячейках I19:I26
19	пользуясь уравнением интерполяции на стр. 41 cv 0,7103 = 0,7084 + 0,000093349 * I13
20	Решение
21	Масса воздуха в сосуде M 1,0703 = 13 * I14 * 1000000 / ((I20 * (I15 + 273))
22	
23	Теплоемкость воздуха cv 0,7227 = I24 / I21
24	
25	Ответ
26	Относительная ошибка error 1,753 = (I32 - I27) / I27 * 100

Задача 164. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м³ воздуха при постоянном избыточном давлении p=0,2 МПа от t₁ = 100 °С до t₂ = 500 °С? Какую работу при этом совершит воздух? Давление атмосферы принять равным 101325 Па.

Алгоритм решения:

1. Определяем количество теплоты:

$$q_p = c_{pm2} t_2 - c_{pm1} t_1 \quad [\text{кДж/кг}]$$

Из табл. XII [3] находим

$$c_{pm1} = 1,0061 \text{ кДж/(кг·К)}; c_{pm2} = 1,0387 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

2. Определяем массу воздуха из характеристического уравнения

$$M = \frac{pV}{RT} \quad [\text{кг}].$$

3. Определяем количество теплоты по объему.

$$q_p = c'_{pm2} t_2 - c'_{pm1} t_1 \quad [\text{кДж/кг}].$$

Из табл. XII [3] находим

$$c'_{pm1} = (c'_{pm})_0^{100} = 1,3004 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)};$$

$$c'_{pm2} = (c'_{pm})_0^{500} = 1,3427 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)},$$

4. Приводим объем воздуха к нормальным условиям.

$$V_n = \frac{pVT_n}{Tp_n}, \quad \text{м}^3,$$

$$Q_p = q_p V_n \quad [\text{кДж}].$$

5. Вычисляем работу газа

$$L = MR (t_2 - t_1) \quad [\text{кДж}].$$

ПРОГРАММА

Основные газовые процессы (изобарный процесс)	
В закрытом сосуде ёмкостью V содержится воздух при давлении p1 и температуре t1	
Определить:	
1. Какое количество теплоты Q необходимо, чтобы его нагреть до температуры t2 при избыточном давлении p=const?	
2. Какую работу совершит при этом воздух?	
Исходные данные	
V	2 м3
t1	100 C
t2	500 C
p	0,2 МПа
Решение	
Формулы в ячейках I12:I25	
Теплоёмкость воздуха с учетом её зависимости от давления, пользуясь уравнением интерполяции на стр. 41, кДж/(кмоль*К)	cp1 1,0045 =0,9952+0,00009349*17
	cp2 1,0419 =0,9952+0,00009349*18
Количество теплоты, сообщаемое 1 кг воздуха, кДж/кг	qr 420,52 =15*18-113*17
Введите значения газовой постоянной (табл.IV, с.318)	R 287
Масса воздуха в сосуде	M 5,6291 =(19+0,1013)*16*1000000/(119*(17+273))
Ответ: количество теплоты, кДж	Q 2367,1 =117*121
Работа воздуха, кДж	L 646220

Задача 179. 1 кг воздуха при температуре $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, начальном давлении $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ сжимается изотермически до конечного давления $p_2 = 1 \text{ МПа}$.

Определить конечный объем затрачиваемой работы и количество теплоты, отводимой от газа.

Алгоритм решения:

1. Определяем начальный объем воздуха из уравнения состояния:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1}, \quad [\text{м}^3 / \text{кг}]$$

Так как в изотермическом процессе

$$p_1 v_1 = p_2 v_2,$$

то конечный объем

$$v_2 = v_1 \frac{p_1}{p_2}. \quad [\text{м}^3 / \text{кг}]$$

2. Вычисляем работу, затрачиваемую на сжатие 1 кг воздуха:

$$L = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = 2,303 RT \lg \frac{p_1}{p_2}. \quad [\text{кДж/кг}]$$

3. Количество теплоты, отводимой от газа, равно работе, затраченной на сжатие.

ПРОГРАММА

Основные газовые процессы (изотермический процесс)			
Воздух массой 1 кг при температуре t1 и начальном давлении p1 сжимается изотермически до конечного давления p2			
Определить:			
1. Определить конечный объем V2, затрачиваемую работу L и количество теплоты Q, отводимой от газа?			
Исходные данные			
M	1	кг	
t1	30	С	
p1	0,1	МПа	
p2	1	МПа	
Решение			
Введите значения газовой постоянной (табл.IV, с.318)	R	287	
Формулы в ячейках I12:I18			
Начальный объем воздуха из уравнения состояния, м3	V1	0,0861	=111*17/(18*1000000*16)
Конечный объем воздуха из уравнения состояния, м3	V2	0,00861	=113*18/19
Работа, затрачиваемая на сжатие 1 кг воздуха, кДж	L	-200,2351	=111*(17+273)*LN(18/19)*0,001
Количество теплоты, отводимое от газа, равна работе, затраченной на сжатие, кДж	Q	-200,2351	=L17

Задача 158. Сосуд емкостью 90 л содержит воздух при давлении 0,8 МПа и температуре 30 °С. Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить воздуху, чтобы повысить его давление при $V = \text{const}$ до 1,6 МПа. Принять зависимость $c = f(t)$ нелинейной.

Алгоритм решения:

1. Из соотношения параметров изохорного процесса получим

$$T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1}, \quad [^{\circ}\text{K}];$$

2. По уравнению $q_v = c_{vm2} t_2 - c_{vm1} t_1$

Из табл. XII [3] находим

$$c_{vm1} = 0,7173 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); \quad c_{vm2} = 0,7351 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

3. Определяем массу воздуха, находящегося в резервуаре:

$$M = \frac{p_1 V_1}{RT_1}, \quad [\text{кг}].$$

4. Определяем сообщенное воздуху количество теплоты

$$Q_v = M \cdot q_v \quad [\text{кДж}].$$

ПРОГРАММА

Microsoft Excel - Задачи по термодинамике			
Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка			
Основные газовые процессы (изохорный процесс)			
В закрытом сосуде ёмкостью V содержится воздух при давлении p_1 и температуре t_1			
Определить:			
1. Какое количество теплоты Q необходимо, чтобы повысить его давление до p_2 при $V = \text{const}$?			
Принять зависимость $c = f(t)$ нелинейной			
Исходные данные		V	0,09 м ³
		t_1	30 С
		p_1	0,8 МПа
		p_2	1,6 МПа
Решение		Формулы в ячейках I12:I25	
Температура воздуха t_2 определяется из параметров		t_2	333 $= (17+273) * 19/18 - 273$
изохорного процесса, градусы Цельсия			
Теплоемкость воздуха с учетом её зависимости от		cv_1	0,7112 $= 0,7084 + 0,00009349 * 17$
температуры, пользуясь уравнением интерполяции			
на стр. 41		cv_2	0,7395 $= 0,7084 + 0,00009349 * 112$
Количество теплоты, сообщаемое 1 кг воздуха		qv	224,93 $= 116 * 112 - 114 * 17$
Введите значения газовой постоянной (табл. IV, с. 318)			
		R	287 кДж/(кг*К)
Масса воздуха в сосуде		M	0,828 $= 16 * 18 * 1000000 / (21 * (17 + 273))$
Ответ: количество теплоты, кДж		Q	186,23 $= 118 * 123$

Задача 261. 1 кг воздуха совершает цикл Карно в пределах температур $t_1 = 627^\circ\text{C}$ и $t_2 = 27^\circ\text{C}$, причем наивысшее давление составляет 6 МПа, а наинизшее – 0,1 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла, работу, термический к.п.д. цикла и количество подведенной и отведенной теплоты.

Алгоритм решения:

Точка 1.

$$p_1 = 6 \text{ МПа}; T_1 = 900 \text{ К.}$$

Удельный объем газа находим из характеристического уравнения

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1}, \quad [\text{м}^3/\text{кг}].$$

Точка 2.

$$T_2 = 900 \text{ К.}$$

Из уравнения адиабаты (линия 2-3) определяем p_2

$$\frac{p_2}{p_3} = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}};$$

Из уравнения изотермы (линия 1-2)

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

получаем
$$v_2 = \frac{p_1 v_1}{p_2}, \quad [\text{м}^3/\text{кг}].$$

Точка 3.

$$p_3 = 0,1 \text{ МПа}; T_3 = 300 \text{ К};$$

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3}, \quad [\text{м}^3/\text{кг}].$$

Точка 4.

$$T_4 = 300 \text{ К.}$$

Из уравнения адиабаты (линия 4-1) имеем

$$\frac{p_1}{p_4} = \left(\frac{T_1}{T_4}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \text{ и находим } p_4$$

Из уравнения изотермы (линия 3-4) получаем

$$p_3 v_3 = p_4 v_4$$

$$v_4 = \frac{p_3 v_3}{p_4},$$

[м³/кг].

Термический к.п.д. цикла

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Подведенное количество теплоты

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1},$$

[кДж/кг].

Отведенное количество теплоты

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4},$$

[кДж/кг].

Работа цикла

$$l_0 = q_1 - q_2,$$

[кДж/кг].

Для проверки можно воспользоваться формулой

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_0}{q_1}.$$

ПРОГРАММА

Microsoft Excel - Задачи по термодинамике

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

020

Круговые процессы

1 кг воздуха совершает цикл Карно (см. рис.) в пределах температур t_1 и t_2 .
 Причем известны значения наивысшего p_{max} и наинизшего p_{min} давлений
Определить:
 1. Параметры состояния воздуха в характерных точках цикла (см. рис.), работу L , τ
 термический к.п.д. цикла и количество подведенной и отведенной теплоты?

Исходные данные

t_1	627 C	p_{max}	6 МПа
t_2	27 C	p_{min}	0,1 МПа

Решение

Введите значения газовой постоянной (табл.IV, с.318) R 287 Дж/(кг*К) k 1,4

Точка 1		Точка 2	
p_1 , МПа	6 = 18	p_2 , МПа	4,68 = 19 * (14 / (C9+273)) ^ (N11 / (N11-1))
T_1 , К	900 = C8+273	T_2 , К	900 = C8+273
V_1 , м3/кг	0,0431 = 11 * C14 / (C13 * 1000000)	V_2 , м3/кг	0,0552 = C13 * C15 / 113
Точка 3		Точка 4	
p_3 , МПа	0,1 = 19	p_4 , МПа	0,128 = C13 / (C14 / 118) ^ (N11 / (N11-1))
T_3 , К	300 = C9+273	T_4 , К	300 = C9+273
V_3 , м3/кг	0,861 = 11 * C18 / (C17 * 1000000)	V_4 , м3/кг	0,6711 = C13 * C15 / 113

Термический к.п.д. цикла	ТЕТА	0,67 = (C14-118) / C14
Подведенное количество теплоты, кДж/кг	q_1	64,37 = 11 * C14 * LN(115 / C15) / 1000
Отведенное количество теплоты, кДж/кг	q_2	21,46 = 11 * C18 * LN(C19 / 119) / 1000
Работа цикла, кДж/кг	L	42,91 = 123-126

Действия

Укажите ячейку и нажмите Enter или выберите "Вставить"

11:45

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадалов Ф.Б. и др. Моделирование и управление технологическим процессом. Сборник научных трудов Математические модели и методы решения инженерных задач ЭВМ - Т.: Фан, 1991
2. Балошевич В.А. Основы математического моделирования. Уч.пособие – Минск: Высшая школа, 1985
3. Рабинович О.М.. Сборник задач по технической термодинамике - М.: Машиностроение, 1973
4. Краснощеков В.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче- М.: Энергия, 1980.
5. http://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot_lit.htm
6. http://rbip.bookchamber.ru/description.aspx?product_no=854

Составители: М.А.Короли, А.И.Анарбаев

Редактор Н.С.Покачалова.

Подписано в печать
Бумага № 1.
Оперативная печать
Уч.изд.л.

. Формат 60x84 1/16
Усл.печ.л.
Тираж 100. Экз.заказ N

Ташкентский государственный технический университет имени Абу Райхана Беруни. 700095. Ташкент, ул. Университетская, 2. Главный учебный корпус.

Типография Ташкентского государственного технического университета. 700095. Ташкент, Вузгородок, ул.Талабалар, 54.