

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт

**«Визначення термодинамічних параметрів робочих тіл»
з курсу «Тепломасообмін», «Теплоенергетичні процеси і об'єкти
виробництва електроенергії та теплоти», «Основи проектування
об'єктів виробництва електроенергії та теплоти» для студентів
спеціальності 7.090505 «Котли і реактори» та спеціальності
7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та
виробництва» усіх форм навчання**

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 23.06.16.

Харків
НТУ «ХП»
2016

Методичні вказівки до лабораторних робіт «Визначення термодинамічних параметрів робочих тіл» з курсу «Тепломасообмін», «Теплоенергетичні процеси і об'єкти виробництва електроенергії та теплоти», «Основи проектування об'єктів виробництва електроенергії та теплоти» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли і реактори» та спеціальності 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» усіх форм навчання / Уклад.: Тютюник Л. І., Касілов В. Й., Іванова Л. А. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – 56 с.

Укладачі: Л. І. Тютюник
В. Й. Касілов
Л. А. Іванова

Рецензент О. В. Касілов

Кафедра парогенераторобудування

ВСТУП

При формуванні фахівця-енергетика варто враховувати стрімке розширення сфери застосування ЕОМ при конструюванні та проектуванні теплоенергетичних установок. Обчислювальна техніка є унікальним сховищем різної інформації, вона підвищує швидкість і надійність обчислень, відкриває широкі можливості для одержання нових знань про досліджуваний об'єкт. Ефективне використання ЕОМ на робочому місці сучасного фахівця вимагає спеціальної підготовки майбутніх інженерів до цієї сторони професійної діяльності. Техніко-економічна ефективність і надійність сучасних котлів формуються в результаті складного процесу, що охоплює наукові дослідження, проектування, виготовлення, експлуатацію.

При проектуванні парових котлів необхідно виконувати різноманітні теплові розрахунки. У зв'язку із цим великого значення набуває можливість виконання розрахунків на ЕОМ.

Предметом навчальної дисципліни «Основи проектування об'єктів виробництва електроенергії та теплоти» є вивчення основних розділів: «Котельне устаткування», «Топкові пристрої та паливо».

У матеріалі курсу викладається фізична сутність робочих процесів в елементах і вузлах парового котла, описуються основні компоновки, різноманітні конструкції енергетичних, водогрійних та пароводогрійних котлів, які працюють як на твердому паливі, так і на газі та мазуті. Наводяться основні положення методики аеродинамічного опору елементів газоповітряного тракту котла, вибору тягодуттьової машини та теплової схеми котельної установки. Також розглядаються допоміжні прилади котельних установок, у тому числі золоуловлювання, золошлаковидалення, тягодуттьові машини. Студенти повинні знати загальну характеристику та конструкцію котлів, уміти визначати маркування котельного агрегату.

Предметом навчальної дисципліни «Теплоенергетичні процеси і об'єкти виробництва електроенергії та теплоти» є вивчення основних розділів: «Технічна термодинаміка», «Теплообмін та теплопередача», «Котельне устаткування», «Топкові пристрої та паливо».

Значна увага приділяється термодинамічним властивостям та процесам парогазових сумішей, розглядаються цикли традиційного теплосилового та холодильного устаткування, цикли прямого перетворення теплової енергії в електричну, деякі нові способи отримання холоду.

«Тепломасообмін» є однією з основних базових теоретичних дисциплін в процесі підготовки інженерів-теплоенергетиків. Знання, уміння і навички, набуті при вивченні цієї дисципліни, інтенсивно використовуються в спеціальних дисциплінах, в курсовому і дипломному проектуванні. Не дивлячись на те, що тепломасообмін є

загальноосвітньою дисципліною, методологічно навчальна програма її тісно пов'язана зі спеціальністю «Котли і реактори», оскільки в ній велика увага приділена специфічним питанням теплообміну, характерним для котельних агрегатів, реакторів і парогенераторів ТЕС і АЕС. Наприклад, в навчальній програмі врахована та обставина, що в топках котлів переважаючим є променевий теплообмін.

Метою вивчення дисципліни є набуття знань на рівні відтворення в об'ємі навчальної програми, умінь і навиків виконання теплових розрахунків, проведення експериментальних досліджень і обробки їх результатів.

Завданням вивчення дисципліни є оволодіння закономірностями протікання основних процесів перенесення теплоти і маси в елементах енергетичних установок, засвоєння основних результатів теоретичних і експериментальних досліджень і ознайомлення зі шляхами вирішення проблем теплообміну з урахуванням сучасних науково-технічних досягнень.

Для плідного вивчення дисципліни необхідно володіти знаннями з вищої математики, фізики, гідрогазодинаміки, технічної термодинаміки.

Котельна установка – це комплекс пристроїв для перетворення хімічної енергії палива в теплову енергію пари.

При спалюванні палива елементи, що входять до складу палива, з'єднуються з киснем повітря, виділяють теплоту та нагрівають продукти згоряння. Від продуктів згоряння теплова енергія передається робочому тілу, яким звичайно служить вода, стисла до тиску вище атмосферного.

Таким чином, у котельну установку необхідно подати деяку кількість палива, окислювача (повітря); забезпечити спалювання палива, віддачу теплоти від продуктів згоряння палива робочому тілу й видалення продуктів згоряння палива. Крім цього, необхідно подати робоче тіло – воду, стислу до необхідного тиску, нагріти воду до необхідної температури та перетворити її в пару, відокремити вологу з пари та перегріти пару. При цьому повинна бути забезпечена надійна робота всіх елементів котельної установки.

Паровий котел являє собою систему поверхонь нагріву для виробництва пари з води, яка безупинно надходить у нього, шляхом використання теплоти, що виділяється при спалюванні палива в топці.

Методичні вказівки містять приклади програм написані мовою програмування Турбо Паскаль та таблиці з вихідними даними при роботі котельного устаткування на твердому, рідкому та газоподібному паливі.

ПРОГРАМА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ТІЛА

Різноманіття якостей сучасних теплоенергетичних об'єктів, таких як висока технічна складність, техніко-економічна ефективність, надійність, маневреність, формуються в результаті наукових досліджень, проектування та експлуатації.

Останнім часом чітко виявилася необхідність проведення розрахунків на ЕОМ, так як при проектуванні парових котлів, парогенераторів, реакторів і турбоустановок необхідно виконувати багатоваріантні теплові розрахунки.

Ці розрахунки можуть бути як конструктивними, так і перевірочними. Перевірочні розрахунки виконують при змінюванні паропродуктивності, характеристик палива, при реконструкції теплоенергетичних об'єктів. Задача конструктивного теплового розрахунку заключається у виборі компоновки поверхонь теплообміну, визначенні розмірів об'єкту дослідження. Перевірочний розрахунок просто перевести на мову ЕОМ, ніж конструктивний, так як він не потребує вибору конструкції і оптимізації режимних параметрів.

При виконанні теплових розрахунків теплоенергетичних установок необхідно багатократно розраховувати теплофізичні властивості теплоносіїв і робочої речовини в широких діапазонах температур та тиску. Заміна таблиць теплофізичних параметрів води, водяної пари, продуктів згоряння аналітичними виразами дозволять різко ускорити розрахунки на ЕОМ. Рівняння стану повинні описувати експериментальні значення теплофізичних властивостей теплоносіїв в межах похибки експерименту і бути узгодженими. В багатьох випадках застосування відомих рівнянь стану дозволяє ефективно визначати на ЕОМ властивості теплоносіїв в широкому діапазоні змін температур та тиску.

При виконанні дипломної роботи студенти-дипломники повинні освоїти основні рівняння для визначення ентальпій води, водяної пари, повітря та продуктів згоряння, а також рівняння для визначення об'ємів повітря та продуктів згоряння і вміти за допомогою мови програмування Турбо Паскаль створювати програми для розрахунку характеристик робочого тіла.

1. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

Студенти повинні написати програму, яка використовує всі описані вище підпрограми.

Необхідно розрахувати:

- ентальпію пари і води на лінії насичення при заданному тиску P_b ;

- ентальпію перегретої пари при заданному тиску перегретої пари P_{pp} і температурі перегретої пари T_{pp} ;

- ентальпію води при заданному тиску P_W і температурі T_W ;

- ентальпію ґріючих газів, заданими параметрами є температура продуктів згоряння T_g (в $^{\circ}\text{C}$), теоретичний об'єм продуктів згоряння V_{0g} (в $\text{м}^3/\text{кг}$ або $\text{м}^3/\text{м}^3$, якщо паливо газоподібне),

- об'єм продуктів згоряння V_g (в $\text{м}^3/\text{кг}$ або $\text{м}^3/\text{м}^3$, якщо паливо газоподібне), коефіцієнт надлишку повітря $Alfa$, робоча вологість палива Wp (в %), робоча зольність палива Ap (в %), нижча теплота згоряння Q_{PH} (в $\text{кДж}/\text{кг}$ або $\text{кДж}/\text{м}^3$, якщо паливо газоподібне), коефіцієнт уносу A_{out} ;

- ентальпію повітря при заданній температурі T_g ;

- втрати зі шлаками, які задані (вхідними) параметрами в цій підпрограмі повинні бути температура золи T_{zl} (в $^{\circ}\text{C}$), робоча зольність палива Ap (в %), коефіцієнт уносу A_{out} , наявне тепло Q_{PP} (в $\text{кДж}/\text{кг}$);

- адіабатичну температуру ґріючих газів; вихідними даними для цієї підпрограми є корисне тепловиділення в топці Q_t (в $\text{кДж}/\text{кг}$ або $\text{кДж}/\text{м}^3$, якщо паливо газоподібне), коефіцієнт надлишку повітря $Alfa$, теоретична витрата повітря V_0 (в м^3), об'єм трьохатомних газів V_{RO2} (в м^3), теоретичний об'єм азоту V_{0_N2} (в м^3), теоретичний об'єм водяної пари V_{0_H2O} (в м^3), коефіцієнт уносу A_{out} і зольність палива Ap (в %).

Структура програми:

- Заголовок;

- Опис констант;

- Опис змінних;

- Функція, яка описує розрахунок ентальпії пари на лінії насичення;

- Функція, яка описує розрахунок ентальпії води на лінії насичення;

- Функція, яка описує розрахунок ентальпії перегретої пари;

- Функція, яка описує розрахунок ентальпії води;

- Функція, яка описує розрахунок ентальпії повітря;

- Функція, яка описує розрахунок ентальпії грійучих газів;
- Функція, яка описує розрахунок втрат зі шлаками;
- Функція, яка описує розрахунок температури грійучого газу;
- Начало основного блоку;
- Задання вихідних даних:
- ✓ тиск в барабані P_b , тиск перегрітої пари P_{pp} , температура перегрітої пари T_{pp} , тиск води P_w , температура води T_W , температура продуктів згоряння T_g ;
- ✓ коефіцієнт надлишку повітря $Alfa$, вид палива – тверде, рідке або газоподібне;
- ✓ складв робочої маси палива:
 - якщо паливо тверде або рідке, то це - робоча вологість палива W_p (в %), робоча зольність палива A_p (в %), вміст вуглецю C_p , азоту N_p , сірки S_p , кисню O_p і водню H_p в робочій масі палива;
 - якщо паливо газоподібне – вміст CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , більш важких вуглеводнів, CO_2 , N_p ;
- ✓ нижча теплота згоряння Q_{BH} (в кДж/кг або кДж/м³, якщо паливо газоподібне), температура золи T_{zl} (в °C), наявне тепло Q_{PP} (в кДж/кг), корисне тепловиділення в топці Q_t (в кДж/кг або кДж/м³, якщо паливо газоподібне), тип шлаковидалення.
- ✓ коефіцієнт уносу A_{out} зазалежить від типу шлаковидалення, якщо шлаковидалення тверде $A_{out} = 0.95$, якщо рідке $A_{out} = 0.8$.
 - За допомогою підпрограм-функцій визначаємо ентальпію робочого тіла:
 - визначається ентальпія пари на лінії насичення P_b ;
 - визначається ентальпія води на лінії насичення P_b ;
 - визначається ентальпія перегрітої пари при заданих P_{pp} , T_{pp} ;
 - визначається ентальпія води при заданих P_w , T_W .
 - Далі в залежності від типу палива визначаються значення теоретичні витрати повітря V_0 (в м³), об'єм трьохатомних газів V_{RO2} (в м³), теоретичного об'єму азоту V_{0_N2} (в м³), теоретичного об'єму водяних паров V_{0_H2O} (в м³).
 - Після цього визначається ентальпія повітря при температурі продуктів згоряння T_g .
 - Потім, враховуючи тип палива, вид шлаковидалення, задані коефіцієнт уносу і коефіцієнт надлишку повітря в газозоді, визначається ентальпія димових газів.
 - Після цього визначаються втрати з фізичним теплом шлаків.
 - Остання підпрограма-функція, яка повинна бути застосована, це підпрограма для визначення адіабатної температури продуктів згоряння в топці.

- Вивід результатів розрахунку в файл або на екран.
- Кінець основного блоку.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНТАЛЬПІЙ ВОДИ ТА ВОДЯНОЇ ПАРИ

Вода (водяна пара) – найбільш поширена в теплоенергетиці робоча речовина. Розробкам придатних для досліджень моделям теплофізичних властивостей води та водяної пари приділяється велика увага. Створення моделей властивостей води та водяної пари у вигляді рівнянь проводилось в багатьох напрямках різними вченими та дослідниками.

Для проведення теплових розрахунків на ЕОМ необхідно мати підпрограми для визначення термодинамічних параметрів водяної пари і води. Всі дані, які знаходяться в таблицях води і водяної пари, зберігати в пам'яті ЕОМ недоцільно, тому в теплових розрахунках теплоенергетичного устаткування приходиться приміняти рівняння для опису термодинамічних властивостей води і водяної пари.

В теперішній час розроблені формули для визначення термодинамічних параметрів для області $0 \div 650$ °С, $0 \div 35$ МПа (в області води при тиску 40 МПа), що є практично достатнім для промислових розрахунків теплоенергетичного устаткування.

Такими є рівняння Юзи [2], які з достатнім ступенем точності для інженерних розрахунків апроксимують стан води і пари в деяких областях, таких як область перегретої пари, критичну та околочитичну області ($15 \leq P \leq 35$ МПа, $330 \leq T \leq 450$ °С).

Нижче наведені рівняння для розрахунку параметрів, алгоритми розрахунку та необхідні апроксимаційні коефіцієнти рівнянь для визначення ентальпії води на лінії насичення, пари на лінії насичення, води при заданому тиску і температурі та ентальпії перегретої пари.

2.1 Визначення ентальпії насиченої пари

Для визначення ентальпії насиченої пари необхідно написати підпрограму-функцію, входним параметром якої буде тиск пари. В паровому котлі – це тиск в барабані та в циркуляційному контурі. Тиск задається в МПа. Результатом роботи підпрограми буде ентальпія насиченої пари та температура насичення, ці величини вимірюються в кДж/кг (або кДж/м³) и °С.

Температура пари на лінії насичення вираховуються за наступною формулою:

$$\begin{aligned}
TH = & A[0] + A[1] * z^1 + A[2] * z^2 + A[3] * z^3 + A[4] * z^4 + A[5] * z^5 + \\
& + A[6] * z^6 + A[7] * z^7 + A[8] * z^8 + A[9] * z^9 + \\
& + A[10] * z^{10} + A[11] * z^{11}.
\end{aligned}
\tag{2.1}$$

Нижче наведені коефіцієнти $A[i]$, які необхідні для вираховування температури насичення

$$\begin{aligned}
A[0] &= 99.09271199, \quad A[1] = 27.85424215, \\
A[2] &= 2.375357647, \quad A[3] = 0.2107780463, \\
A[4] &= 0.02129682011, \quad A[5] = 0.001328377290, \\
A[6] &= -0.0003739348425, \quad A[7] = -0.00001741775190, \\
A[8] &= 0.00002207171179, \quad A[9] = 0.000001534373134, \\
A[10] &= -0.000000426856851, \quad A[11] = -0.00000004292460291.
\end{aligned}$$

Параметр z визначається зао формулою:

$$z = LN(PB * 9.8 / (0.00980665 * 100)),
\tag{2.2}$$

в цю формулу тиск PB треба підставити в МПа. Співвідношення між розмірністю тиску в системі СГС и СІ слідує: $1 \text{ кг/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$.

Так як в формулі для вираховування температури насичення необхідно декілька раз вираховувати значення дійсного числа в цілому ступені, то необхідно створити підпрограму-функцію для визначення дійсного числа в цілому ступені.

Підпрограма для зведення дійсного числа X в цілий ступінь k буде мати наступний вид:

FUNCTION PWT(X : REAL; k : INTEGER):REAL;

VAR

J:INTEGER;

T1:REAL;

BEGIN

T1:=1;

FOR $j:=1$ **TO** k **DO** $T1:=T1*x$;
PW := $T1$;
END;

ця підпрограма повинна знаходитися в блоку опису після запропонування з описом констант та змінних величин.

Формула для вирахування ентальпії насиченої пари:

$$IHP = (B[0] + B[1] * (TH / 100)^1 + B[2] * (TH / 100)^2 + B[3] * (TH / 100)^3 + B[4] * (TH / 100)^4 + B[5] * (TH / 100)^5 + B[6] * (TH / 100)^6 + B[7] * (TH / 100)^7) * 1000, \quad (2.3)$$

Коефіцієнти $B[i]$ для визначення ентальпії насиченої пари за формулою (5.2.3) приведені нижче

$$B[0] = 2.50096, \quad B[1] = 0.18430540, \quad B[2] = 0.000195911, \\
B[3] = -0.012737746, \quad B[4] = 0.009384970, \\
B[5] = -0.0080477568, \quad B[6] = 0.0027325329, \\
B[7] = -0.00034714286;$$

Ентальпія насиченої пари **IHP** визначається кДж/кг (або в кДж/м³ при газоподібному паливі), якщо потрібно отримати **IHP** в ккал/кг, то треба поділити отриману величину на 4,187.

Таким чином, структура підпрограми буде мати наступний вид:

FUNCTION Ім'я підпрограми;

CONST

Опис констант;

VAR

Опис змінних величин;

FUNCTION PWT (ідентифікатор змінної величини, котра зводиться в ступінь, ідентифікатор показника ступеня):**REAL**;

Тіло програми для визначення любого дійсного числа в цілу ступінь;

END;

BEGIN

Основной блок, в якому визначається температура і ентальпія води на лінії насичення;

END;

Коефіцієнти **A** та **B** зручно описувати в пропозиції:

CONST

A: ARRAY [N1..N2] OF REAL =

(значення коефіцієнтів через кому);

N1 та **N2** номер началу діапазону та кінця відповідно.

Приклад програми для визначення ентальпії насиченої пари:

```
Program enp ;
uses crt;
var
f:word;
z,tn,I,lnP,Pb:real;
a:array[0..11] of real;
b:array[0..7] of real;
function y(a,b:real):real;
begin
y:=exp(b*ln(a));
end;
begin
clrscr;
a[0]:=99.09271192;
a[1]:=27.8542421;
a[2]:=2.375357647;
a[3]:=0.02129682011;
a[4]:=0.02129682011;
a[5]:=0.00132837729;
a[6]:=0.0003739348425;
a[7]:=0.0000174177519;
a[8]:=0.00002207171179;
a[9]:=0.0000015343373134;
a[10]:=0.000000426856851;
a[11]:=-0.00000004292460291;
write ('Введіть Pb,(kg/cm^2) ');
readln(Pb);
z:=ln(Pb/0.980665);
```

```

writeln(' z=',z:6:20);
tn:=0;
for f:=0 to 11 do
begin
tn:=tn+a[f]*y(z,f);
end;
writeln('Tn=',tn:6:10,' grad');
b[0]:=2.50096;
b[1]:=0.000183054;
b[2]:=0.000195911;
b[3]:=-0.012737746;
b[4]:=-0.00938497;
b[5]:=-0.0080477568;
b[6]:=-0.0027325329;
b[7]:=-0.00034714286;
I:=0;
for f:=0 to 7 do
begin
I:=I+b[f]*y((Tn/100),f);
end;
Inp:=I*1000;
writeln('Inp=',Inp:15:10,' kDj');readln;
end.

```

2.2 Визначення ентальпії води на лінії насичення

Підпрограма має такуж структуру як опис вище. Необхідно визначити ентальпію води на лінії насичення по заданому тиску. Спочатку визначається температура води на лінії насичення по коефіцієнтам та рівнянням, наведеним в пункті 5.2.1.

Температура насичення визначається за формулою (5.2.1).

Потім визначається ентальпія води на лінії насичення. Рівняння для розрахунку ентальпії води на лінії насичення:

$$\begin{aligned}
 IWN = & (B [0] + B [1] * (TH / 100) ^ 1 + B [2] * (TH / 100) ^ 2 + \\
 & B [3] * (TH / 100) ^ 3 + B [4] * (TH / 100) ^ 4 + B [5] * (TH / 100) ^ 5 + \\
 & B [6] * (TH / 100) ^ 6 + B [7] * (TH / 100) ^ 7 + B [8] * (TH / 100) ^ 8 + \\
 & B [9] * (TH / 100) ^ 9) * 1000.
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Коефіцієнти $B [i]$ для цього рівняння:

$B[0] = -0.0000416$, $B[1] = 0.42290733$, $B[2] = -0.025507948$,
 $B[3] = 0.06222956$, $B[4] = -0.08382342$, $B[5] = 0.06921469$,
 $B[6] = -0.03453679$, $B[7] = 0.010322371$,
 $B[8] = -0.0016994910$, $B[9] = 0.00011936422$.

Ентальпія, яка розрахована за цими формулами, вимірюється в кДж/кг (або в кДж/м³, якщо паливо газоподібне).

Приклад програми для визначення ентальпії води на лінії насичення:

```
Program epw;  
uses crt;  
var  
f: word;  
I,tn,Inw:real;  
a:array [0..9] of real;  
function y(a,b:real):real;  
begin  
y:=exp(b*ln(a));  
end;  
begin  
clrscr;  
a[0]:=-0.0000416;  
a[1]:=0.42290733;  
a[2]:=-0.025507948;  
a[3]:=0.06222956;  
a[4]:=-0.08382142;  
a[5]:=0.06921469;  
a[6]:=-0.03453679;  
a[7]:=0.010322371;  
a[8]:=-0.001699401;  
a[9]:=0.00011936422;  
write ('Введіть Tn,(degree Celsius) ');readln (tn);  
i:=0;  
for f:=0 to 9 do  
begin  
I:=I+a[f]*y((tn/100),f);  
end;  
Inw:=I*1000;  
writeln('Inw=',Inw:20:10);readln;  
end.
```


где $x = 1000 / y$.

Значення ентальпії перегретої пари визначається за формулою:

$$U = IH - R * y^2 * DB * z - 0.5 * R * y^2 * DC * z^2 - 0.3333 * R * y^2 * DD * z^3, \quad (2.6)$$

де

$$y = T_{pp} + 273.,$$

$$z = P_{pp} * 9.8,$$

$$R = 0.46151.$$

$$I_{pp} = U;$$

Значення ентальпії перегретої пари I_{pp} в кДж/кг (або в кДж/м³, якщо паливо газоподібне).

Приклад програми для визначення ентальпії перегретої пари:

```
Program epp;
uses crt;
const
r=0.46151;
var
f: word;
b0: array [0..5] of real;
c0,d0: array [0..8] of real;
x,y,z,I,db,dc,dd,Ipp,tnw: real;
function h(a,b: real): real;
begin
h:=exp(b*ln(a));
end;
begin
clrscr;
b0[0]:= -5.0114;
b0[1]:= 19.6657;
b0[2]:= -20.90137;
b0[3]:= 2.32488;
b0[4]:= 2.67376;
b0[5]:= -1.62302;
```

```

c0[0]:=-29.33164;
c0[1]:=129.65709;
c0[2]:=-181.95576;
c0[3]:=0.704026;
c0[4]:=247.96718;
c0[5]:=-264.05235;
c0[6]:=117.60724;
c0[7]:=-21.276671;
c0[8]:=0.5248023;
d0[0]:=34.55136;
d0[1]:=230.69622;
d0[2]:=-657.21885;
d0[3]:=1036.187;
d0[4]:=-977.45125;
d0[5]:=555.8894;
d0[6]:=-182.09871;
d0[7]:=30.55471;
d0[8]:=-1.9917134;
write ('Введіть Tnw ');readln(tnw);
write ('Введіть Pnw ');readln(z);
y:=tnw+273;x:=1000/y;
I:=1808.92+1.48286*y+3.79025*0.0001*sqr(y)+106.3196*
0.4343*ln(y);
for f:=0 to 5 do
begin
db:=0.0000001*(0-f*b0[f]*h(x,(f+1)));
end;
for f:=0 to 8 do
begin
dc:=0.000000001*(0-f*c0[f]*h(x,(f+1)));
dd:=9.999999999999999*(0-f*d0[f]*h(x,(f+1)));
end;
Ipp:=I-r*sqr(y)*db*z-0.5*r*sqr(y)*dc*sqr(z)-
0.3333*r*sqr(y)*dd*h(z,3);
write('Ipp=',Ipp:20:3);readln;
end.

```

2.4 Визначення ентальпії води

В цій підпрограмі вихідними даними є тиск PW та температура води TW . Визначається ентальпія води. Структура підпрограми аналогічна попереднім.

Апроксимуючі коефіцієнти для розрахунку ентальпії

$B3[1] = 0.000643, B3[2] = 0.41982594, B3[3] = -0.006521815,$
 $B3[4] = 0.006365696, B3[5] = -0.001850814, B3[6] = .000451997;$

$B4[1] = 0.0096859913, B4[2] = -0.003072526, B4[3] = .0016722356,$
 $B4[4] = -0.0008069601, B4[5] = 0.0001209302, B4[6] = -.0000220091;$

$B5[1] = -0.00288, B5[2] = 0.00320, B5[3] = 0.0000544,$
 $B5[4] = 0.000000001682.$

$BIII = B3[1] + B3[2] * S + B3[3] * S^2 + B3[4] * S^3 + B3[5] * S^4 +$
 $+ B3[6] * S^5;$

$BIV = B4[1] + B4[2] * S + B4[3] * S^2 + B4[4] * S^3 + B4[5] * S^4 +$
 $+ B4[6] * S^5;$

$BV = B5[1] + B5[2] * S + B5[3] * S^6 + B5[4] * S^{16},$

где $S = TW / 100;$

Ентальпія води розраховується за рівнянням:

$$I_w = (BIII + BIV * (PW / 100) + BV * y) * 1000, \quad (2.7)$$

де

$$y = 1 / (PW / 100.0 + 2.0) - 0.24927 + 0.021 * (PW / 100);$$

Значення ентальпії води I_w в кДж/кг (або в кДж/м³, якщо паливо газоподібне).

Приклад програми для визначення ентальпії води:

```
Program eptw;  
uses crt;  
var  
b3,b4:array [1..6] of real;  
b5:array [1..4] of real;  
b03,b04,b05,y,Ppw,Tpw,s,Iptw:real;  
f:word;  
function h(a,b:real):real;
```

```

begin
h:=exp(b*ln(a));
end;
begin
clrscr;
b3[1]:=0.000643;
b3[2]:=0.41982594;
b3[3]:=-0.006521815;
b3[4]:=0.006365696;
b3[5]:=-0.001850814;
b3[6]:=0.000451997;
b4[1]:=0.0096859913;
b4[2]:=-0.003012526;
b4[3]:=-0.0016722356;
b4[4]:=-0.0008069604;
b4[5]:=0.0001209302;
b4[6]:=-0.0000220091;
b5[1]:=-0.0028;
b5[2]:=0.0032;
b5[3]:=0.0000544;
b5[4]:=0.000000001682;
write('Введіть Ppw (kg/cm^2) ');readln(Ppw);
write('Введіть Tpw (degre Celsius) ');readln(Tpw);
s:=Tpw/100;b03:=0;b04:=0;
for f:=1 to 6 do begin
        b03:=b03+b3[f]*h(s,(f-1));
        b04:=b04+b4[f]*h(s,(f-1));
        end;
b05:=b5[1]+b5[2]*s+b5[3]*h(s,6)+b5[4]*h(s,16);
y:=1/(Ppw/100+2)-0.24927+0.21*Ppw/100;
Iptw:=(b03+b04*(Ppw/100)+b05*y)*1000;
write ('Iptw=',Iptw:15:10);readln;
end.

```

Приклад програми для визначення ентальпії води та водяної пари:

```

Program Par_Voda;{визначення ентальпії води та водяної
пари}
uses crt;
var
    ii, p, t:real;

Function ENP(PB:real):real; { визначення ентальпії насиченої
пари }
const

```

```

a:array [0..11] of real = (99.09271192, 27.8542421,
2.375357647,
0.21077800463, 0.02129682011, 0.001328377290, -
0.0003739348425,
-0.00001741775190, 0.00002207171179,
0.000001534373134,
-0.000000426856851, -0.00000004292460291);
b:array [0..7] of real = (2.50096, 0.00018430540,
0.000195911,
-0.012737746, 0.009384970, -0.0080477568, 0.0027325329,
-0.00034714286);

```

```

var
z,Tn,En:real; {Tn – температура насичення,
En – ентальпія насиченої пари}
i:integer;

```

```

function PWT(x:real;k:integer):real; {зведення в цілу
ступінь}

```

```

var
j:integer;
t1:real;
begin
t1:=1;
for j:=1 to k do t1:=t1*x;
pwt:=t1;
end;
Begin
z:=Ln(Pb/(0.00980665*100));
Tn:=0;
for i:=0 to 11 do
Tn:=Tn+a[i]*pwt(z,i);
En:=0;
for i:=0 to 7 do
En:=En+b[i]*pwt(Tn/100,i);
Enp:=En*1000/4.187;
END;

```

```

Function EVLN(Pb:real):real;{ентальпія води на лінії
насичення}

```

```

const
a:array [0..11] of real = (99.09271192, 27.8542421,
2.375357647,
0.21077800463, 0.02129682011, 0.001328377290, -
0.0003739348425,

```

```

-0.00001741775190,          0.00002207171179,
0.000001534373134,
-0.000000426856851, -0.00000004292460291);
b:array [0..9] of real = (-0.0000416, 0.42290733, -
0.025507948,
0.06222956, -0.08382142, 0.06921469, -0.03453679,
0.010322371,
-0.0016994010, 0.00011936422);

```

```

var
z,Tn,Ev:real; {Tn – температура насичення,
Ev – ентальпія води на лінії насичення}
i:integer;

```

```

function PWT(x:real;k:integer):real; {зведення в цілу
ступінь}

```

```

var
j:integer;
t1:real;
begin
t1:=1;
for j:=1 to k do t1:=t1*x;
pwt:=t1;
end;
Begin
z:=Ln(Pb/(0.00980665*100));
Tn:=0;
for i:=0 to 11 do
Tn:=Tn+a[i]*pwt(z,i);
Ev:=0;
for i:=0 to 9 do
Ev:=Ev+b[i]*pwt(Tn/100,i);
Evln:=Ev*1000/4.187;
END;

```

```

Function EPRP(Ppp,Trp:real):real;{ентальпія перегрітої
пари}

```

```

const
r=0.46151;

b0:array [0..5] of real = (-5.0114, 19.6657, -20.90137,
2.32488,
2.67376, -1.62302);
c0:array [0..8] of real = (-29.133164, 129.65709, -
181.95576,

```

```

0.704029, 247.96718, -264.05235, 117.60729, -21.276671,
0.5248023);
d0:array [0..8] of real = (34.55136, 230.69622, -657.21885,
1036.187,
-977.45125, 555.8494, -182.09871, 30.55471, -1.9917134);

```

```

var
  db,dc,dd:real;
  Epp,x,y,z,ih,u:real;
  i:integer;

```

```

function PWT(x:real;k:integer):real; {зведення в цілу
ступінь}

```

```

  var
    j:integer;
    t1:real;
  begin
    t1:=1;
    for j:=1 to k do t1:=t1*x;
    pwt:=t1;
  end;
Begin
  y:=Tpp;
  z:=Ppp;
  y:=y+273;

```

```

ih:=1808.92+1.48286*y+3.79025*0.0001*y*y+6.3196*0.4343*ln(y);
x:=1000/y;
Db:=0;
for i:=0 to 5 do
  Db:=Db+0.0000001*(-i*B0[i]*PWT(x,i+1));
Dc:=0;
for i:=0 to 8 do
  Dc:=Dc+0.000000001*(-i*C0[i]*PWT(x,i+1));
Dd:=0;
for i:=0 to 8 do
  Dd:=Dd+9.999999999999999*10E-12*(-
i*D0[i]*PWT(x,i+1));
  U:=Ih-r*y*y*Db*z-0.5*r*y*y*Dc*z*z-
0.3333*r*y*y*Dd*z*z*z;
  Eprp:=U/4.187;
END;

```

```

Function EH2O(Pv,Trv:real):real;{ентальпія води}
const

```

```

b3:array [1..6] of real = (0.000643, 0.41982594, -
0.006521815,
0.006365696, -0.001850814, 0.000451997);
b4:array [1..6] of real = (0.0096859913, -0.003072526,
0.0016722356,
-0.0008069601, 0.0001209302,-0.0000220091);
b5:array [1..4] of real = (-0.00288, 0.00320, 0.0000544,
0.000000001682);

```

```

var
  BIII,BIV,BV,S,y,Ev:real;
  i:integer;

```

```

function PWT(x:real;k:integer):real; {зведення в цілу
ступінь}

```

```

var
  j:integer;
  t1:real;
begin
  t1:=1;
  for j:=1 to k do t1:=t1*x;
  pwt:=t1;
end;
Begin
s:=Tpv/100;
BIII:=0;
for i:=1 to 6 do
BIII:=BIII+b3[i]*PWT(S,i-1);
BIV:=0;
for i:=1 to 6 do
BIV:=BIV+b4[i]*PWT(S,i-1);
BV:=B5[1]+b5[2]*S+B5[3]*PWT(s,6)+b5[4]*PWT(s,16);
y:=1/(Pv/100+2)-0.24927+0.021*(Pv/100);
Ev:=(BIII+BIV*(Pv/100)+BV*y)*1000;
EH2O:=Ev/4.187;
End;

```

```

BEGIN
ClrScr;
write('Ввести значення P насичення = ');
readln (P);
ii:=ENP(p);
writeln ('Ентальпія насиченої пари при P= ',P,' ii= ',ii);
ii:=EVLN(p);

```

```

writeln ('Ентальпія води на лінії насичення при P= ',P,' ii=
',ii);
p:=40;
t:=440;
ii:=EPRP(p,t);
writeln ('Ентальпія перегрітої пари при P= ',P,' T= ',T,' ii=
',ii);
t:=150;
p:=40;
ii:=EH2O(P,T);
writeln ('Ентальпія води при P= ',P,' T= ',T,' ii= ',ii);
repeat until keypressed;
END.

```

3. ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ

При тепловому розрахунку парових та водогрійних котлів необхідно визначити теоретичні та дійсні об'єми повітря та продуктів згорання. Це виконується в такій послідовності:

1. Вибрати тип палива - тверде, рідке або газоподібне та його склад;
2. Визначити теоретичний об'єм повітря для полного спалювання палива.

– при спалюванні твердого або рідкого палива

$$V_0 = 0.0889 * (C_p + 0.375 * S_p) + 0.265 * H_p - 0.0333 * O_p; \quad (3.1)$$

– при спалюванні газоподібного палива

$$V_0 = 0.0476 * (0.5 * CO + 0.5 * H_2 + 1.5 * H_2S + \Sigma (m+n/4) * C_mH_n - O_2), \quad (3.2)$$

де m – число атомів вуглецю, n – число атомів водню.

3. Визначити теоретичний об'єм азоту в продуктах згорання
 - при спалюванні твердого і рідкого палива

$$V_{0_N_2} = 0.79 * V_0 + 0.8 * N_2/100 \quad (3.3)$$

– при спалюванні газоподібного палива

$$V0_N2=0.79*V0 + N2/100. \quad (3.4)$$

4. Визначити об'єм трьохатомних газів

– при спалюванні твердого і рідкого палива

$$VRO2 = 1.866 * (Cp + 0.375 * Sp)/100; \quad (3.5)$$

– при спалюванні газоподібного палива

$$VRO2 = 0.01 * (CO2 + CO + H2S + \Sigma m * CmHn). \quad (3.6)$$

5. Визначити теоретичний об'єм водяних парів

– при спалюванні твердого і рідкого палива

$$V0_H2O = 0.111 * Hp + 0.0124 * Wp + 0.0161 V0; \quad (3.7)$$

– при спалюванні газоподібного палива

$$V0_H2O = 0.01 * (H2S + H2 + \Sigma (n/2) * CmHn + 0.124 * d_{Г.Т.Л}) + 0.0161 V0. \quad (3.8)$$

6. Визначити дійсний об'єм водяних парів

$$VH2O = V0_H2O + 0.0161 * (Alfa - 1) * V0. \quad (3.9)$$

7. Визначити теоретичний об'єм продуктів згорання

$$V0g = VRO2 + V0_N2 + V0_H2O; \quad (3.10)$$

8. Визначити дійсний об'єм продуктів згорання

$$Vg = V0g + 0.0161 * (Alfa - 1) * V0. \quad (3.11)$$

Значення об'ємів мають розмірність m^3/kg при спалюванні твердого і рідкого палива та m^3/m^3 при спалюванні газоподібного

палива.

Вихідними даними є вид палива, його склад та значення коефіцієнта надлишку повітря.

Приклад програми для визначення об'ємів повітря та продуктів згоряння:

program ROPIPS; {розрахунок об'ємів повітря та продуктів згоряння }

uses crt;

var

V0, V0g, Vg, FUEL:real;

Cp, Hp, Sp, Op, Np, Wp, Ap, Alfa:real;

CO2, CO, CH4, C2H6, C3H8, C4H10, C5H12, Dg_tl, N2, O2, H2, H2S:REAL;

procedure

FUEL_1_2(Cp, Hp, Sp, Op, Np, Wp, Ap, Alfa:real); { Wp- зольність,

Ap- вологість, Alfa- коефіцієнт надлишку повітря }

Var

V0N2, VRO2, V0_H2O, VH2O, N2:real;

begin

V0:=0.0889*(Cp+0.375*Sp)+0.265-0.333*Op;

V0N2:=0.79*V0+0.8*N2/100;

VRO2:=1.866*(Cp+0.375*Sp)/100;

V0_H2O:=0.111*Hp+0.0124*Wp+0.0161*V0;

VH2O:=V0_H2O+0.0161*(Alfa-1)*V0;

V0g:=VRO2+V0N2+V0_H2O;

Vg:=VRO2+V0N2+(Alfa-1)*V0+V0_H2O+0.0161*(Alfa-

1)*V0;

end;

procedure FUEL_3(CO2, CO, CH4, C2H6, C3H8, C4H10, C5H12,

Alfa, Dg_tl, N2, O2, H2, H2S:REAL); { Alfa, Dg_tl-

коефіцієнт надлишку повітря в топці та вологовміст газоподібного палива відповідно }

Var

V0N2, VRO2, V0_H2O, VH2O:real;

begin

V0:=0.0476*0.5*Co+0.5*H2+1.5*H2S+(1+4/4)*CH4+(2+6/4)*C2H6+(3+8/4)*C3H8+

(4+10/4)*C4H10+(5+12/4)*C5H12-O2;

V0N2:=0.79*V0+N2/100;

VRO2:=0.01*(CO2++CO+H2S+1*CH4+2*C2h6+3*C3H8+4*C4H10+5*C5H12);

V0_H2O:=0.01*(H2s+H2+0.124*Dg_tl+(4/2)*CH4+(6/2)*C2H6+(8/2)*C

(10/2)*C4H10+(12/2)*C5H12)+0.0161*V0;

VH2O:=V0_H2O+0.0161*(Alfa-1)*V0;

V0g:=VRO2+V0N2+V0_H2O;

Vg:=VRO2+V0N2+(Alfa-1)*V0+V0_H2O+0.0161*(Alfa-

1)*V0;

end;

BEGIN

ClrScr;

writeln('Вибираємо тип палива FUEL, його склад,
коефіцієнт надлишку повітря Alfa');

readln (FUEL);

if (FUEL=1) or (FUEL=2) then

begin

write('Wp ='); readln(Wp);

write('Ap ='); readln(Ap);

write('Sp ='); readln(Sp);

write('Cp ='); readln(Cp);

write('Hp ='); readln(Hp);

write('Np ='); readln(Np);

write('Op ='); readln(Op);

end

else

begin

write('CH4 ='); readln(CH4);

write('C2H6 ='); readln(C2H6);

write('C3H8 ='); readln(C3H8);

write('C4H10 ='); readln(C4H10);

write('C5H12 ='); readln(C5H12);

write('N2 ='); readln(N2);

write('CO2 ='); readln(CO2);

write('H2S ='); readln(H2S);

write('O2 ='); readln(O2);

write('CO ='); readln(CO);

write('H2 ='); readln(H2);

write('Dg_tl ='); readln(Dg_tl);

end;

write('Alfa ='); readln(Alfa);

if FUEL=3 Then FUEL_3 (CO2, CO, CH4, C2H6, C3H8, C4H10, C5H12,
Alfa, Dg_tl, N2, O2, H2, 2H2S)

ELSE

```

FUEL_1_2(Cp,Hp,Sp,Op,Np,Wp,Ap,Alfa);
writeln('V0 =',V0:10:5);
writeln('V0g =',V0g:10:5);
writeln('Vg =',Vg:10:5);
Repeat until keypressed;
End.

```

4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНТАЛЬПІЇ ПОВІТРЯ

При проведенні розрахунків теплових і гідравлических параметрів в котлах часто необхідно визначити ентальпію повітря, як горячого, так і холодного. Це можливо зробити за допомогою наступних рівнянь.

Вихідними даними є температура повітря TBX . Теоретичею об'єм повітря $V0$ є для цієї підпрограми глобальною змінною величиною та визначен раніше в підпрограмі для визначення об'ємів повітря та продуктів згорання.

Ентальпія повітря визначається за наступними формулами:

$$\begin{aligned}
 CBX = & -2.2616689 \cdot 10E-18 * TBX^5 + 1.7716406 \cdot 10E-14 * TBX^4 - \\
 & 5.1300306 \cdot 10E-11 * TBX^3 + 6.076097700000001 \cdot 10E-08 * TBX^2 \\
 & + \\
 & 0.0000035619473 * TBX + 0.31519196;
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

$$IBX = V0 * CBX * TBX * 4.19; \tag{4.2}$$

$$IBX = (1.306 + 12.813 * 0.00001 * TBX) * V0 * TBX. \tag{4.3}$$

Значення ентальпії в кДж/кг (або в кДж/м³, якщо паливо газоподібне).

Приклад програми для визначення ентальпії повітря:

```

Program evozduha;
uses crt;
var
Tgv,Thv,VO,Cgv,Chv,Igv,Ihv:real;
function y(a,b:real):real;
begin
y:=exp(b*ln(a));

```

```

end;
begin
clrscr;
write('Ввести Tgv (degree Celsius) ');readln(Tgv);
write('Ввести Thv (degree Celsius) ');readln(Thv);
write('Ввести VO ');readln(VO);
Cgv:=-2.2616689*y(10,-18)*y(Tgv,5)+1.7716106*y(10,-
14)*y(Tgv,4)
-5.1300306*y(10,-11)*y(Tgv,3)+6.07609700000001*y(10,-
8)*sqr(Tgv)
+0.0000035619413*Tgv+0.31519196;
Chv:=1.306+12.813*0.0001*Thv;
Igv:=VO*Cgv*sqr(Tgv);
Ihv:=VO*Chv*sqr(Thv);
writeln('Igv=',Igv:15:10);
write('Ihv=',Ihv:15:10);readln;
end.

```

5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНТАЛЬПІІ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ

Ця підпрограма повинна визначати ентальпію продуктів згорання **Ig** влюбій точці газоходу.

Заданим (вхідним) параметром є температура продуктів згорання **Tg** (в °C). Теоретичний об'єм продуктів згорання

V0g (в м³/кг або м³/м³, якщо паливо газоподібне), об'єм продуктів згорання **Vg** (в м³/кг або м³/м³, якщо паливо газоподібне), коефіцієнт надлишку повітря **Alfa**, робоча вологість палива **Wp** (в %), робоча зольність палива **Ap** (в %), нижча теплота згорання **QPH** (в кДж/кг або кДж/м³, якщо паливо газоподібне), коефіцієнт уносу **Aout** являються глобальними параметрами всієї задачі і повинні бути описаними та визначеними в головній програмі або підпрограмах, які були задіяні раніше. Значення ентальпії продуктів згорання визначаються в кДж/кг (або в кДж/м³, якщо паливо газоподібне).

Ентальпія газів визначається при **Alfa** ≥ 1 при **Tg** < 1500 °C.

Нижче наведені коефіцієнти апроксимації [5], їх треба описувати в блоці опису як постійні–масиви:

$$A[1] = 0.063, A[2] = 0.074, A[3] = 0.082, A[4] = 0.056,$$

$$A[5] = 0.050;$$

$$B0[1] = 6.176, B0[2] = 6.830, B0[3] = 7.208, B0[4] = 5.459,$$

$$B0[5] = 4.812.$$

Якщо паливо тверде, то перевіряємо робочу вологість.

При $Wp < 5$ приймаємо:

$$A2 = A[1];$$

$$B2 = B0[1].$$

При ($Wp > 5$) и ($Wp < 15$) приймаємо:

$$A2 = A[2];$$

$$B2 = B0[2].$$

Якщо $Wp \geq 15$, приймаємо:

$$A2 = A[3],$$

$$B2 = B0[3].$$

Якщо паливо рідке, приймаємо:

$$A2 = A[4],$$

$$B2 = B0[4].$$

Якщо паливо газоподібне, приймаємо:

$$A2 = A[5],$$

$$B2 = B0[5].$$

Надаємо:

$$dx = 0.0;$$

$$dy = 0.0.$$

Якщо паливо рідке або зольне ($1000.0 * Ap * Aout / QPH \geq 1,4$ % кг /МДж), тоді:

$$dx = 0.82 * Aout * Ap / (100 * V0g),$$

$$dy = 17.23 * Aout * Ap / (100 * V0g),$$

інакше

$$dx = 0.0,$$

$$dy = 0.0.$$

Ентальпія продуктів згорання визначається за формулою:

$$I_g = (1.306 + (A2 + dx) / Alfa + (12.813 + (B2 + dy) / Alfa) * 0.00001 * Tg) * Tg * Vg; \quad (5.1)$$

Приклад програми для визначення продуктів згоряння:

```
Program eps;
uses crt;
label
m1,m2,m3,m4;
var
a,b0:array [1..5] of real;
Wp,ax,ay,aun,Ap,Qp,Vor,alfa,Td,Vd,a2,b2,Ig:real;
begin
a[1]:=0.063;
a[2]:=0.074;
a[3]:=0.082;
a[4]:=0.056;
a[5]:=0.050;
b0[1]:=6.176;
b0[2]:=6.83;
b0[3]:=7.208;
b0[4]:=5.459;
b0[5]:=4.812;
clrscr;
write('Введіть alfa (>1) ');readln(alfa);
write('Введіть Td(degree Celsius) (<1500) ');readln(Td);
write('Введіть Aun ');readln(aun);
write('Введіть Ap ');readln(Ap);
write('Введіть Qp ');readln(Qp);
write('Введіть Vor ');readln(Vor);
write('Введіть Vd ');readln(Vd);
writeln('Треба визначитись з типом палива');
writeln('1-тверде ');
writeln('2-рідке ');
writeln('3-газоподібне');
writeln('Натисніть 1 або 2 або 3');
case readkey of
#49:begin
writeln('Якщо паливо тверде, то визначте Wp ');
writeln('1- Wp<5');
writeln('2- 5<=Wp<15');
writeln('3- Wp>=15');
writeln('Натисніть 1 або 2 або 3');
case readkey of
#49:begin
a2:=a[1];ax:=0;ay:=0;
b2:=b0[1];
goto m1;
end;
```

```

#50:begin
  a2:=a[2];ax:=0;ay:=0;
  b2:=b0[2];
  goto m1;
end;
#51:begin
  a2:=a[3];ax:=0;ay:=0;
  b2:=b0[3];
  goto m1;
end;
end;
end;
#50:begin
  a2:=a[4];
  b2:=b0[4];
  if (10*aun*Ap/Qp)>6 then begin
    ax:=0.82*aun*Ap/(100*Vor);
    ay:=17.23*aun*Ap/(100*Vor);
    goto m1;
  end;
  ax:=0;ay:=0;goto m1;
end;
#51:begin
  a2:=a[5];ax:=0;ay:=0;
  b2:=b0[5];
  goto m1;
end;
end;
m1:Ig:=(1.036+(a2+ax)/alfa+(12.83+(b2+ay)/alfa)*0.00001*
Td)*Td*Vd;
write('Ig=',Ig:15:10);readln;
end.

```

6. ПІДПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ВТРАТ З ФІЗИЧНИМ ТЕПЛОМ ШЛАКІВ

Вхідними параметрами в цій підпрограмі повинні бути температура золи Tz_l (в $^{\circ}\text{C}$). Робоча зольність палива Ap (в %), коефіцієнт уносу $Aout$, наявне тепло QPP (в кДж/кг) є глобальними параметрами, їх необхідно описати, задати або визначити в головній програмі.

FUNCTION Q_6 (Tzl: REAL): REAL;

{Підпрограма розрахунку втрат з теплом золи}

CONST

Izl : ARRAY [1..20] OF REAL =
(80.7898, 169.1144, 263.718, 359.996, 458.367, 560.0868, 662.2252,
766.8752, 874.874, 983.71, 1096.732, 1205.568, 1360.45,
1582.308, 1758.12, 1875.32, 2063.698, 2185.092, 2386.02, 2511.6);

VAR

Tzol : ARRAY [1..20] OF REAL;
i, j: INTEGER; r1, w, z : REAL;

BEGIN

{Визначення табличних значень температур від 100 до 2000}

Tzol [1]:=100.;

FOR i:= 2 TO 20 DO Tzol [i]: = 100.0 + 100.0 * (i - 1);

Z:= Tzl;

FOR j:=1 TO 19 DO

BEGIN

{Порівняння табличних температур золи **Tzol[j]** та заданої температури золи **Z**}

IF (Tzol[j+1] >= Z) AND (Tzol [j] <= Z) THEN

BEGIN

{Визначення ентальпії золи при температурі **Z= Tzl** шляхом інтерполяції}

W := Tzol[j +1] - Tzol [j];

r1:= Izl [j] + w*(Tzl- Tzol [j])/ (Tzol [j+1] - Tzol [j]);

END;

END;

Q_6:= (1.0 - Aout) * r1 * Ap / QPP;

END;

Приклад програми для визначення втрат з фізичним теплом шлаків:

```
program P_F_T_Sh;
uses crt;
const
  Ifl:array [1..20] of real = (80.7898, 169.1144, 263.718,
359.996,
  458.367, 560.0868, 662.2252, 766.9752, 874.874, 983.71,
1096.732,
  1205.568, 1360.45, 1582.308, 1758.12, 1875.32, 2063.698,
2185.092,
  2386.02, 2511.6);
var
  Tzl,Ap,Aout,Qpp,Ihl,c,z,Q_6:real;
  i,j:integer;
  Tfl:array [1..20] of real;
Begin
  ClrScr;
  writeln('Ввести початкові значення Tzl, Ap, Aout, Qpp ');
  {readln;}
  write('Tzl = '); readln(Tzl);
  write('Ap = '); readln(Ap);
  write('Aout = '); readln(Aout);
  write('Qpp = '); readln(Qpp);
  writeln('Tzl,Ap,Aout,Qpp=',Tzl,Ap,Aout,Qpp);
  Tfl[1]:=100;
  for i:=2 to 20 do
  begin
    Tfl[i]:=Tfl[i-1]+100;
    writeln(Tfl[i]);
    readln;
    end;

  for i:=2 to 20 do
  begin
    writeln('Tfl[i-1],tfl[i],ifl[i-1],ifl[i] ',
      Tfl[i-1],tfl[i],ifl[i-1],ifl[i]);

    if (Tzl >= Tfl[i-1]) and (Tzl < Tfl[i]) then
      Ihl:=Ifl[i-1]+(Ifl[i]-Ifl[i-1])*(Ifl[i]-Ifl[i-1])/(tfl[i]-Tfl[i-1]);
    readln;
    end;
    Q_6:=(1-Aout)*Ihl*Ap/Qpp;
    writeln('Q_6 = ', Q_6); readln;
  END.
```

7. ПІДПРОГРАМА ВИЗНАЧЕННЯ АДІАБАТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ГРІЮЧИХ ГАЗІВ В ТОПЦІ

Визначення температури гріючих газів проводиться в діапазоні 0 – 2300 °С.

Вихідними даними для цієї підпрограми (процедури або функції) являються корисне тепловиділення в топці Qt (в кДж/кг або кДж/м³, якщо паливо газоподібне), коефіцієнт наблишку повітря $Alfa$, теоретична витрата повітря $V0$ (в м³), об'єм трьохатомних газів $VRO2$ (в м³), теоретичний об'єм азоту $V0_N2$ (в м³), теоретичний об'єм водяних парів $V0_H2O$ (в м³), коефіцієнт уносу $Aout$ та зольність палива Ap (в %).

Дана підпрограма розраховує димові гази при зміні температури від 0 °С до 2300 °С, потім, порівнює значення корисного тепловиділення зі значеннями ентальпії продуктів згорання, знаходить діапазон ентальпій, між якими знаходиться значення корисного тепловиділення. Потім методом інтерполяції визначається температура димових газів, яка відповідає корисному тепловиділенню в топці.

Дана підпрограма використовує дані таблиць для визначення теплоємностей трьохатомних газів, азоту, водяних парів, повітря, золи.

PROGRAM TTT; {програма для вивозу підпрограми-процедури}

USES CRT;

VAR

Tad, Aout, Ap, Qt, Alfa, V0, VRO2, V0_N2, V0_H2O: REAL;

PROCEDURE TT; {підпрограма для визначення температури за заданим тепловиділенням }

CONST {масив температур}

T:ARRAY [1..24] OF REAL =(0., 100., 200., 300., 400., 500., 600., 700., 800., 900., 1000., 1100., 1200., 1300., 1400., 1500., 1600., 1700., 1800., 1900., 2000., 2100., 2200., 2300.0);

{масив теплоємностей трьохатомних газів для відповідних температур T }

CRO2: ARRAY [1..24] OF REAL =(0., 169., 357., 559., 772., 996., 1222., 1461., 1704., 1951., 2202., 2457., 2717., 2976., 3240., 3504., 3767., 4035., 4303., 4571., 4843., 5115., 5387., 5658.);

{масив теплоємностей водяних парів для відповідних температур T }

CH2O: ARRAY [1..24] OF REAL = (0., 151., 306., 463., 626., 794., 967., 1147., 1335., 1524., 1725., 1926., 2131., 2344., 2558., 2779., 3001., 3227., 3458., 3688., 3926., 4161., 4399., 4646.);

{масив теплоємкості азоту для відповідних температур T }

CN2: ARRAY [1..24] OF REAL = (0., 130., 260., 392., 527., 664., 804., 946., 1093., 1243., 1394., 1545., 1695., 1850., 2009., 2164., 2323., 2482., 2642., 2805., 2964., 3127., 3290. 3450.);

{масив теплоємкості повітря для відповідних температур T }

Cvoz ARRAY [1..24] OF REAL= (0., 132., 266., 403., 542., 684., 830.,

979., 1130., 1281., 1436., 1595., 1754., 1931., 2076., 2239., 2403., 2566., 2729., 2897., 3064., 3239., 3399., 3565.);

{масив теплоємкості золи для відповідних температур T }

Czol: ARRAY [1..24] OF REAL= (0., 81., 169., 264., 360., 458., 561., 663., 768., 874., 984., 1096., 1206., 1360., 1571., 1758., 1830., 2066., 2184., 2385., 2512., 2640., 2760., 2890.);

VAR

ii,ig,iv : ARRAY [1..24] OF REAL;

I, J : INTEGER; Z, W : REAL;

BEGIN {Початок основного блоку підпрограми **TT**}

FOR i := 1 TO 24 DO

BEGIN

{Визначення ентальпії продуктів згорання при коефіцієнті надлишку повітря $Alfa = 1$ та температурі продуктів згорання $T[i]$ }

Ig[i] := VRO2*CRO2[i] + V0_N2 * CN2[i] + V0_H2O *CH2O[i];

{Визначення ентальпії повітря $Alfa = 1$ і температури повітря $T[i]$ }

Iv[i] := V0 * Cvoz[i];

{Визначення ентальпії продуктів згорання при будь-якому відмінному від 1 коефіцієнті надлишку повітря }

Ii[i] := Ig[i] + (Alfa - 1.0) * Iv[i] + Czol[i] * Aout * Ap/100.0;

END;

Z := Qt;

FOR j:=1 TO 23 DO

BEGIN

{Порівняння ентальпії продуктів згорання $\dot{u}[j]$ та заданного корисного тепловиділення Z }

IF ($\dot{u}[j+1] \geq Z$) **AND** ($\dot{u}[j] \leq Z$) **THEN**

BEGIN

{Визначення температури продуктів згорання шляхом інтерполяції}

$W := T[j+1] - T[j];$

$Tad := T[j] + W * (Z - \dot{u}[j]) / (\dot{u}[j+1] - \dot{u}[j]);$

END;

END;

END;

BEGIN {тіло основної програми}

CLRSCR;

{задання вихідних даних}

Aout:= 0.95; Ap:= 40.1; Qt:= 16488; Alfa:= 1.2; V0:= 4.15; VRO2:= 0.75;

VO_N2:= 3.28; VO_H2O := 0.49;

TT; {визов процедури, яка визначає температуру газів}

END.

Приклад програми для визначення адіабатичної температури продуктів згорання:

```
program TTT;
uses crt;
var
  Tad,Aout,Ap,Qt,Alfa,VO,VRO2,VO_N2,VO_H2O,Ii,Ig,Iv:
real;

  Procedure TT;
  const
    T:array [1..24] of real=(0., 100., 200., 300., 400., 500., 600.,
700., 800., 900., 1000., 1100., 1200., 1300., 1400., 1500., 1600., 1700.,
1800., 1900., 2000., 2100., 2200., 2300.0);
    CRO2:array [1..24] of real=(0., 169., 357., 559., 772., 996.,
1222., 1461., 1704., 1951., 2202., 2457., 2717., 2976., 3240., 3504., 3767.,
4035., 4303., 4571., 4843., 5115., 5387., 5658.0);
    CH2O:array [1..24] of real=(0., 151., 306., 463., 426., 794.,
767., 1147., 1335., 1524., 1725., 1926., 2131., 2344., 2558., 2779., 3001.,
3227., 3458., 3688., 3926., 4161., 4399., 4646.0);
    CN2:array [1..24] of real=(0., 130., 260., 392., 527., 664., 804.,
946., 1093., 1243., 1394., 1545., 1695., 1850., 2009., 2164., 2323., 2482.,
```

```

2642., 2805., 2964., 3127., 3290., 3450.0);
  Cvoz:array [1..24] of real=(0., 132., 266., 403., 542., 684., 830.,
979., 1130., 1281., 1436., 1595., 1754., 1931., 2076., 2239., 2403., 2566.,
2779., 2897., 3064., 3239., 3399., 3565.0);
  Czol:array [1..24] of real=(0., 81., 169., 264., 360., 458., 561.,
663., 768., 874., 984., 1096., 1206., 1360., 1571., 1758., 1830., 2066., 2184.,
2385., 2512., 2640., 2760., 2890.0);
  var
  Ii,Ig,Iv:array [1..24] of real;
  I,J:integer;
  Z,W:real;

  begin
  for i:=1 to 24 do
  begin

  Ig[i]:=VRO2*CRO2[i] +VO_N2*CN2[i]+VO_H2O*CH2O[i];
  Iv[i]:=VO*Cvoz[i];
  Ii[i]:=Ig[i]+(Alfa-1.0)*Iv[i]+Czol[i]*Aout*Ap/100.0;
  end;

  Z:=Qt;
  for j:=1 to 23 do
  begin
  if (ii[j+1]>=Z) and (ii[j]<=Z) then
  begin

  W:=T[j+1]-T[j];
  Tad:=T[j]+W*(Z-ii[j])/(ii[j+1]-ii[j]);
  end;
  end;
  end;
  begin
  clrscr;
  writeln('Aout=');readln (Aout);
  writeln('Ap=');readln (Ap);
  writeln('Qt=');readln (Qt);
  writeln('Alfa=');readln (Alfa);
  writeln('VO=');readln (VO);
  writeln('VRO2=');readln (VRO2);
  writeln('VO_N2=');readln (VO_n2);
  writeln('VO_H2O=');readln (VO_H2O);

  TT;
  writeln('Tad=',Tad);

```

repeat until keypressed;
end.

Приклад програми для визначення ентальпій води і водяної пари;
об'ємів повітря і продуктів згоряння; ентальпій продуктів згоряння та
ентальпій повітря:

```
Program OBSHAYA;  
uses crt;  
var  
ii,p,t,Pb:real;  
z,TH,IHP:real;  
i:integer;  
IWN:real;  
DB,DC,DD:real;  
IPP,x,y,IH,U:real;  
IW,BIII,BIV,BV,S:real;  
VO,VOg,Vg,IBX,CBX,TBX,Fuel:real;  
Tg,QPH,Aout,Ig,dx,dy,A2,B2:real;  
CH:char;  
Cp,Hp,Sp,Op,Np,Wp,Ap,Alfa:real;  
CO2,CO,CH4,C2H6,C3H8,C4H10,C5H12,Dg_t1,N2,O2,H2,  
H2S:real;  
VO_N2,VRO2,VO_H2O,VH2O:real;  
  
Function ENP(Pb:real):real;  
const  
a:array [0..11] of real= (99.09271199, 27.85424215,  
2.375357647, 2107780463, 0.02129682011, 0.001328377290,  
-0.0003739348425, -0.00001741775190, 0.00002207171179,  
0.000001534373134, -0.000000426856851, -0.00000004292460291);  
b:array [0..7] of real =(2.50096, 0.18430540, 0.000195911,  
-0.012737746, 0.009384970, -0.0080477568, 0.0027325329,  
-0.00034714286);  
  
Function PWT(x:real;k:integer):real;  
var  
j:integer;  
T1:real;  
begin  
T1:=1;  
for j:=1 to k do T1:=T1*x;  
PWT:=T1;  
end;  
begin
```

```

z:=Ln(Pb/0.098065*100);
TH:=0;
for i:=0 to 11 do
TH:=TH+a[i]*PWT(z,i);
IHP:=0;
for i:=0 to 7 do
IHP:=IHP+b[i]*PWT(TH/100,i);
IHP:=IHP*100;
end;

```

```

Function EVLN(Pb:real):real;

```

```

const

```

```

a:array [0..11] of real = (99.09271199, 27.85424215,
2.375357647, 0.2107780463, 0.02129682011, 0.001328377290,
-0.0003739348425, -0.00001741775190, 0.00002207171179,
0.000001534373134, -0.000000426856851, -0.00000004292460291);
b:array [0..9] of real = (-0.0000416, 0.42290733,
-0.025507948, 0.06222956, -0.08382342, 0.06921469,
-0.03453679, 0.010322371, -0.0016994910, 0.00011936422);

```

```

Function PWT(x:real;k:integer):real;

```

```

var

```

```

j:integer;

```

```

T1:real;

```

```

begin

```

```

T1:=1;

```

```

for j:=1 to k do T1:=T1*x;

```

```

PWT:=T1;

```

```

end;

```

```

begin

```

```

z:=Ln(Pb/(0.00980665*100));

```

```

TH:=0;

```

```

for i:=0 to 11 do

```

```

TH:=TH+a[i]*PWT(z,i);

```

```

IWN:=0;

```

```

for i:=0 to 9 do

```

```

IWN:=IWN+b[i]*PWT(TH/100,i);

```

```

IWN:=IWN*1000;

```

```

end;

```

```

Function EPP(Ppp,Tpp:real):real;

```

```

const

```

```

R=0.46151;

```

```

b0:array [0..5] of real= (-5.0114, 19.6657, -20.90137,
2.32488, 2.67376, -1.62302);

```

```

c0:array [0..8] of real= (-29.133164, 129.65709, -181.95576,
0.704029, 247.96718, -264.05235, 117.60729, -21.276671, 0.5248023);
d0:array [0..8] of real= (34.55136, 230.69622, -657.21885,
1036.187, -977.45125, 555.8494, -182.09871, 30.55471, -1.9917134);

```

```

Function PWT(x:real;k:integer):real;
var
j:integer;
T1:real;
begin
T1:=1;
for j:=1 to k do T1:=T1*x;
PWT:=T1;
end;

begin
y:=Tpp;
z:=Ppp;
y:=y+273;
IH:=1808.92+1.48286*y+3.79025*0.0001*y*y+6.3196*0.4343
*Ln(y);
x:=1000/y;
DB:=0;
for i:=0 to 5 do
DB:=DB+0.0000001*(-i*b0[i]*pwt(x,i+1));
DC:=0;
for i:=0 to 8 do
DC:=DC+0.000000001*(-i*c0[i]*pwt(x,i+1));
DD:=0;
for i:=0 to 8 do
DD:=DD+9.999999999999999*10E-12*(-i*d0[i]*pwt(x,i+1));
U:=IH-R*y*y*DB*z-0.5*R*y*y*DC*z*z-
0.3333*R*y*y*DD*z*z*z;
ipp:=U;
end;

```

```

Function EW(Pw,Tw:real):real;
const
b3:array [1..6] of real= (0.000643, 0.41982594,
-0.006521815, 0.006365696, -0.001850814, 0.000451997);
b4:array [1..6] of real= (0.0096859913, -0.003072526,
0.0016722356, -0.0008069601, 0.0001209302, -0.0000220091);
b5:array [1..4] of real= (-0.00288, 0.00320, 0.0000544,
0.000000001682);

```

```

Function PWT(x:real;k:integer):real;

```



```

var
j:integer;
T1:real;
begin
T1:=1;
for j:=1 to k do T1:=T1*x;
PWT:=T1;
end;

begin
S:=TW/100;
BIII:=0;
for i:=1 to 6 do
BIII:=BIII+b3[i]*pwt(S,i-1);
BIV:=0;
for i:=1 to 6 do
BIV:=BIV+b4[i]*pwt(S,i-1);
BV:=b5[1]+b5[2]*S+b5[3]*pwt(S,6)+b5[4]*pwt(S,16);
y:=1/(PW/100.0+2.0)-0.24927+0.021*(PW/100);
IW:=(BIII+BIV*(PW/100)+BV*y)*1000;
end;

const
A:array [1..5] of real = (0.063,0.074,0.082,0.056,0.050);
BO:array [1..5] of real = (6.176,6.830,7.208,5.459,4.812);

Procedure Fuel_1_2;
begin;
VO:=0.0889*(Cp+0.375*Sp)+0.265*Hp-0.0333*Op;
VO_N2:=0.79*VO+0.8*N2/100;
VRO2:=1.866*(Cp+0.375*Sp)/100 ;
VO_H2O:=0.111*Hp+0.0124*Wp+0.0161*VO;
VH2O:=VO_H2O+0.0161*(Alfa-1)*VO;
VOg:=VRO2+VO_N2+VO_H2O;
Vg:=VOg+0.0161*(Alfa-1)*VO;
end;

Procedure Fuel_3;
begin
VO:=0.0476*(0.5*CO+0.5*H2+1.5*H2S+((1+4/4)*CH4+(2+6/
4)*C2H6+(3+8/4)*C3H8 +(4+10/4)*C4H10+(5+12/4)*C5H12)-O2);
VO_N2:=0.79*VO+N2/100;
VRO2:=0.01*(CO2+CO+H2S+(CH4+2*C2H6+3*C3H8+
4*C4H10+5*C5H12));
VO_H2O:=0.01*(H2S+H2+(4/2)*CH4+(6/2)*C2H6+(8/2)*

```

```

C3H8+(10/2)*C4H10 +(12/2)*C5H12+0.124*Dg_t1)+0.0161*VO;
VH2O:=VO_H2O+0.0161*(Alfa-1)*VO;
VOg:=VRO2+VO_N2+VO_H2O;
Vg:=VOg+0.0161*(Alfa-1)*VO;
end;

```

```

BEGIN

```

```

  clrscr;

```

```

  writeln('Fuel'); readln(Fuel);

```

```

  if (Fuel=1) or (Fuel=2) then

```

```

    begin

```

```

      writeln('Wp='); readln(Wp);

```

```

      writeln('Ap='); readln(Ap);

```

```

      writeln('Sp='); readln(Sp);

```

```

      writeln('Cp='); readln(Cp);

```

```

      writeln('Hp='); readln(Hp);

```

```

      writeln('Np='); readln(Np);

```

```

      writeln('Op='); readln(Op);

```

```

      writeln('P=');readln (P);

```

```

    end

```

```

      else

```

```

        begin

```

```

          writeln('CH4='); readln(CH4);

```

```

          writeln('C2H6='); readln(C2H6);

```

```

          writeln('C3H8='); readln(C3H8);

```

```

          writeln('C4H10='); readln(C4H10);

```

```

          writeln('C5H12='); readln(C5H12);

```

```

          writeln('N2='); readln(N2);

```

```

          writeln('CO2='); readln(CO2);

```

```

          writeln('H2S='); readln(H2S);

```

```

          writeln('O2='); readln(O2);

```

```

          writeln('CO='); readln(CO);

```

```

          writeln('H2='); readln(H2);

```

```

          writeln('Dg_t1='); readln(Dg_t1);

```

```

        end;

```

```

          writeln('Tg='); readln(Tg);

```

```

          writeln('TBX='); readln(TBX);

```

```

          writeln('Alfa='); readln(Alfa);

```

```

          writeln('QPH='); readln(QPH);

```

```

          writeln('Aout='); readln(Aout);

```

```

        if Fuel=3 then Fuel_3 else Fuel_1_2;

```

```

          writeln('VO=',VO:10:5);

```

```

          writeln('VOg=',VOg:10:5);

```

```

          writeln('Vg=',Vg:10:5);

```

```

writeln ("); readln (CH) ;
if CH='Y' then
writeln ('IBX=',IBX:10:5);

{ Якщо паливо тверде, то перевіряємо вологовміст Wp }
if Fuel=1 then
if Wp<5 then
begin
A2:=A[1];
B2:=BO[1];
end;

if (Wp>5) and (Wp<15) then
begin
A2:=A[2];
B2:=BO[2];
end;

if Wp>=5 then
begin
A2:=A[3];
B2:=BO[3];
end;

if Fuel=2 then
begin
A2:=A[4];
B2:=BO[4];
end;

if Fuel=3 then
begin
A2:=A[5];
B2:=BO[5];
end;

dx:=0;
dy:=0;

if (Fuel=2) or (4.187*1000*Aout*Ap/QPH>6) then
begin
dx:=0.82*Aout*Ap/(100*VOg);
dy:=17.23*Aout*Ap/(100*VOg);

ii:=ENP(P);

```

```

writeln('P=',P,'ii=',ii);
ii:=EVLN(P);

writeln('P=',P,'ii=',ii);
P:=2.1;
T:=350;
ii:=EPP(P,T);

writeln('P=',P,'T=',T,'ii=',ii);
P:=2.5;
T:=155;
ii:=EW(P,T);
writeln('P=',P,'T=',T,'ii=',ii);
end;
CBX:=1.306+12.013*0.00001*TBX;
IBX:=VO*CBX*TBX*4.19;
Ig:=(1.306+(A2+dx)/Alfa+(12.813+(B2+dy)/Alfa)*0.00001*
Tg)*Tg*Vg;
writeln('IBX=',IBX);
writeln('Ig=',Ig);
repeat until keypressed;
end.

```

Приклад програми для визначення ентальпій повітря і продуктів згоряння та втрати з фізичним теплом шлаків:

```

Program all345;
uses crt;
const
A:array [1..5] of real = (0.063,0.074,0.082,0.056,0.050);
BO:array [1..5] of real = (6.176,6.830,7.208,5.459,4.812);
var
VO,VOg,Vg,IBX,CBX,TBX,Fuel:real;
Tg,QPH,Aout,Ig,dx,dy,A2,B2:real;
CH:char;
Cp,Hp,Sp,Op,Np,Wp,Ap,Alfa:real;
CO2,CO,CH4,C2H6,C3H8,C4H10,C5H12,Dg_t1,N2,O2,H2,
H2S:real;

Procedure Fuel_1_2;
var
VO_N2,VRO2,VO_H2O,VH2O,N2:real;
begin
VO:=0.0889*(Cp+0.375*Sp)+0.265*Hp-0.0333*Op;
VO_N2:=0.79*VO+0.8*N2/100;

```

```

VRO2:=1.866*(Cp+0.375*Sp)/100 ;
VO_H2O:=0.111*Hp+0.0124*Wp+0.0161*VO;
VH2O:=VO_H2O+0.0161*(Alfa-1)*VO;
VOg:=VRO2+VO_N2+VO_H2O;
Vg:=VOg+0.0161*(Alfa-1)*VO;
end;

```

```

Procedure Fuel_3;

```

```

var

```

```

VO_N2,VRO2,VO_H2O,VH2O:real;

```

```

begin

```

```

VO:=0.0476*(0.5*CO+0.5*H2+1.5*H2S+((1+4/4)*CH4+(2+6/
4)*C2H6+(3+8/4)*C3H8+(4+10/4)*C4H10+(5+12/4)*C5H12)-O2);

```

```

VO_N2:=0.79*VO+N2/100;

```

```

VRO2:=0.01*(CO2+CO+H2S+(CH4+2*C2H6+3*C3H8+
4*C4H10+5*C5H12));

```

```

VO_H2O:=0.01*(H2S+H2+(4/2)*CH4+(6/2)*C2H6+(8/2)*
C3H8+(10/2)*C4H10+(12/2)*C5H12+0.124*Dg_t1)+0.0161*VO;

```

```

VH2O:=VO_H2O+0.0161*(Alfa-1)*VO;

```

```

VOg:=VRO2+VO_N2+VO_H2O;

```

```

Vg:=VOg+0.0161*(Alfa-1)*VO;

```

```

end;

```

```

BEGIN

```

```

clrscr;

```

```

writeln('Fuel'); readln(Fuel);

```

```

if (Fuel=1) or (Fuel=2) then

```

```

begin

```

```

writeln('Wp='); readln(Wp);

```

```

writeln('Ap='); readln(Ap);

```

```

writeln('Sp='); readln(Sp);

```

```

writeln('Cp='); readln(Cp);

```

```

writeln('Hp='); readln(Hp);

```

```

writeln('Np='); readln(Np);

```

```

writeln('Op='); readln(Op);

```

```

end

```

```

else

```

```

begin

```

```

writeln('CH4='); readln(CH4);

```

```

writeln('C2H6='); readln(C2H6);

```

```

writeln('C3H8='); readln(C3H8);

```

```

writeln('C4H10='); readln(C4H10);

```

```

writeln('C5H12='); readln(C5H12);

```

```

writeln('N2='); readln(N2);

```

```

writeln('CO2='); readln(CO2);

```

```

writeln('H2S='); readln(H2S);
writeln('O2='); readln(O2);
writeln('CO='); readln(CO);
writeln('H2='); readln(H2);
writeln('Dg_t1='); readln(Dg_t1);
end;
writeln('Tg='); readln(Tg);
writeln('TBX='); readln(TBX);
writeln('Alfa='); readln(Alfa);
writeln('QPH='); readln(QPH);
writeln('Aout='); readln(Aout);

if Fuel=3 then Fuel_3 else Fuel_1_2;
writeln('VO=',VO:10:5);
writeln('VOg=',VOg:10:5);
writeln('Vg=',Vg:10:5);
writeln (''); readln (CH) ;
if CH='Y' then
writeln ('IBX=',IBX:10:5);

{ Якщо паливо тверде, то перевіряємо вологовміст Wp }
if Fuel=1 then
if Wp<5 then
begin
A2:=A[1];
B2:=BO[1];
end;

if (Wp>5) and (Wp<15) then
begin
A2:=A[2];
B2:=BO[2];
end;
if Wp>=5 then
begin
A2:=A[3];
B2:=BO[3];
end;

if Fuel=2 then
begin
A2:=A[4];
B2:=BO[4];
end;

```

```

if Fuel=3 then
begin
A2:=A[5];
B2:=BO[5];
end;

dx:=0;
dy:=0;

if (Fuel=2) or (4.187*1000*Aout*Ap/QPH>6) then
begin
dx:=0.82*Aout*Ap/(100*VOg);
dy:=17.23*Aout*Ap/(100*VOg);
end;
CBX:=1.306+12.013*0.00001*TBX;
IBX:=VO*CBX*TBX*4.19;
Ig:=(1.306+(A2+dx)/Alfa+(12.813+(B2+dy)/Alfa)*0.00001*
Tg)*Tg*Vg;
writeln('IBX=',IBX);
writeln('Ig=',Ig);
repeat until keypressed
end.

```

8. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Котельне устаткування працює на твердому паливі (табл.1):

Таблиця 1 – вихідні дані для котельного устаткування, яке працює на твердому паливі

№ п/п	Найменування величини	Варіанти			
		1	2	3	4
1	Паливо	Кам'яне вугілля	Кам'яне вугілля	Кам'яне вугілля	Кам'яне вугілля
2	Склад палива:				
	Wp, %	13,0	5,0	11,00	8,5
	Ap, %	21,8	20,9	40,1	30,2
	Sp, %	3	2,4	3,8	1,6
	Cr, %	49,3	66,6	38,6	56,4
	Hr, %	3,6	2,6	2,6	1,1
	Nr, %	1,0	1,0	0,8	0,5
Or, %	8,3	1,5	3,1	1,7	
3	Нижча теплота згорання, (кДж/кг), Q_{pn}	19590	25270	15283;	19970
4	Тип шлаковидалення	тверде	тверде	тверде	рідке
5	Тиск в барабані (МПа), P_b	1.43	4,4	11,0	14,9
6	Температура перегрітої пари (°C), T_{pp}	250	445	510	540
7	Тиск перегрітої пари (МПа), P_{pp}	1,3	3,8	10,0	13,5
8	Температура води (°C), T_W	145	100	215	210
9	Тиск води (МПа), P_W	1,5	4,7	12,0	16,4
10	Температура продуктів згорання (°C), T_g	1100	1000	1100	1200

Продовження табл. 1

11	Коефіцієнт надлишку повітря <i>Alfa</i>	1,2	1,25	1,2	1,2
12	Температура золи (шлаку) ($^{\circ}\text{C}$), <i>Tzl</i>	600	600	600	1420
13	Наявне тепло (кДж/кг), <i>QPP</i>	19590	26630	15283	21800
14	Корисне тепло-виділення в топці (кДж/кг), <i>Qt</i>	20500	30530	17217	23500

Котельне устаткування працює на газоподібному паливі (табл.2):

Таблиця 2 - вихідні данні для котельного устаткування, яке працює на газоподібному паливі

№ п/п	Найменування величини	Варіанти			
		1	2	3	4
1	Паливо	Природний газ	Природний газ	Попутний газ	Газ коксових печей
2	Склад палива:				
	СН ₄ ,%	89,7	76,4	38,7	25,5
	С ₂ Н ₆ ,%	0,2	4,5	22,6	-
	С ₃ Н ₈ ,%	1,7	1,7	10,7	-
	С ₄ Н ₆ ,%	0,5	0,8	2,7	-
	С ₅ Н ₁₀ ,%	0,1	0,6	0,7	-
	СО ₂ ,%	0,1	0,2	23,8	3,0
	СО,%	0	0	0,8	2,4
	Н,%	0	0	-	-
	О,%	0	0	-	0,5
Н,%	2,7	14,5	-	6,5	
Н ₂ S,%	0	1,0	-	59,8	
3	Нижча теплота згорання, (кДж/кг), Q_{pn}	37430	33952	42402,8	16807,5
4	Тип шлаковидалення	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
5	Тиск в барабані (МПа), P_b	2,3	1,54	2,3	1,54
6	Температура перегрітої пари (°C), T_{pp}	350	350	350	350
7	Тиск перегрітої пари (МПа), P_{pp}	2,1	1,4	2,1	1,4

Продовження табл. 2

8	Температура води ($^{\circ}\text{C}$), <i>TW</i>	165	100	165	100
9	Тиск води (МПа), <i>PW</i>	2,4	1,65	2,4	1,65
10	Температура продуктів згорання ($^{\circ}\text{C}$), <i>Tg</i>	1000	1100	1000	1100
11	Коефіцієнт надлишку повітря <i>Alfa</i>	1,1	1,2	1,1	1,2
12	Найвне тепло (кДж/кг), <i>QPP</i>	37430	33952	42460,1	16847,4
13	Корисне тепло-виділення в топці (кДж/кг), <i>Qt</i>	37680	33840	42714,8	16948,48
14	Температура золи (шлаку) ($^{\circ}\text{C}$), <i>Tzl</i>	0	0	0	0

Котельне устаткування працює на рідкому паливі (табл.3):

Таблиця 3 – вихідні данні для котельного устаткування, яке працює на рідкому паливі

№ п/п	Найменування величини	Варіанти		
		1	2	3
1	Паливо	Мазут мало-сірчаний	Мазут сірчаний	Мазут високосірчаний
2	Склад палива:			
	W _p ,%	3,0	3,0	3,0
	A _p ,%	0,05	0,1	0,1
	S _p ,%	0,3	1,4	2,8
	C _p ,%	84,65	83,8	83,0
	H _p ,%	11,7	11,2	10,4
	N _p ,%	0	0	0,5
	O _p ,%	0,3	0,5	0,2
3	Нижча теплота згорання, (кДж/кг), Q_{pn}	40280	39763	38770
4	Тип шлаковидалення	відсутній	відсутній	відсутній
5	Тиск в барабані (МПа), P_b	2,3	2,3	14,85
6	Температура перегрітої пари (°C), T_{pp}	350	350	560
7	Тиск перегрітої пари (МПа), P_{pp}	2,1	2,1	13,5
8	Температура води (°C), T_W	155	155	205
9	Тиск води (МПа), P_W	2,5	2,5	16,6
10	Температура продуктів згорання (°C), T_g	1000	1000	1200
11	Коефіцієнт надлишку повітря Alfa	1,1	1,1	1,1

Продовження табл. 3

12	Температура золи (шлаку) ($^{\circ}\text{C}$), <i>T_{zI}</i>	0	0	0
13	Наявне тепло (кДж/кг), <i>Q_{PP}</i>	40450	39866	39370
14	Корисне тепло-виділення в топці (кДж/кг), <i>Q_t</i>	40750	41859	41600

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Юза Я. Уравнения для термодинамических свойств воды и водяного пара, предназначенные для вычислительных машин// Теплоэнергетика. 1967. № 1. С. 85 – 89.

2. Методические указания к курсовым проектам по курсам «Топочные процессы и устройства» и «Парогенераторы». Расчет топки парогенератора с использованием ЭВМ. //Сост. Горбатенко В.Я. – Харьков: ХПИ, 1988. –58с.

3. Методические указания «Определение термодинамических параметров рабочих тел» для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы информационных технологий и программирование» для студентов специальности 7.090505 «Котлы и реакторы» //Сост. Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д. – Харьков: НТУ ХПИ, 2005.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Програма визначення термодинамічних параметрів робочого тіла.....	5
1 Послідовність виконання завдання.....	6
1.1 Структура програми.....	6
2 Визначення ентальпій води і водяної пари.....	8
2.1 Визначення ентальпії насиченої пари.....	8
2.2 Визначення ентальпії води на лінії насичення.....	12
2.3 Визначення ентальпії перегрітої пари.....	14
2.4 Визначення ентальпії води.....	16
3 Визначення об'ємів повітря і продуктів згорання.....	23
4 Визначення ентальпії повітря.....	27
5 Визначення ентальпії продуктів згорання.....	28
6 Підпрограма розрахунку втрат з фізичним теплом шлаків.....	31
7 Підпрограма визначення адиабатної температури гріючих газів в топці.....	34
8 Варіанти задання до лабораторної роботи.....	48
Список джерел інформації.....	54

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних робіт «Визначення термодинамічних параметрів робочих тіл» з курсу «Тепломасообмін», «Теплоенергетичні процеси і об'єкти виробництва електроенергії та теплоти», «Основи проектування об'єктів виробництва електроенергії та теплоти» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли і реактори» та спеціальності 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» усіх форм навчання

Укладачі ТЮТЮНИК Лариса Іванівна
КАСІЛОВ Віктор Йосипович
ІВАНОВА Лідія Анатоліївна

Відповідальний за випуск О.В.Єфімов
Роботу до друку рекомендував О.В.Потетенко

В авторській редакції

План 2016р., поз. 49

Підп. до друку 02.09.16. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2.
Друк – цифровий. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 3,3.
Наклад 50 прим. Зам. №05000750

Видавничий центр НТУ «ХПІ» 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024 Харків, Максиміліанівська, 11 Тел.: (057)756-53-25
www.madrid.in.ua, e-mail: info@madrid.in.ua