



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА (Часть 1)

Цель работы – рассчитать теплоемкость влажного воздуха при заданных параметрах: температуре, давлении и влагосодержании; исследовать влияние параметров влажного воздуха на значение теплоемкости.

- Задание к работе:** 1) набрать текст программы (файл R3U.FOR);
2) отредактировать программу и создать исполняемый файл R3U.EXE;
3) просчитать программу согласно исходным данным (файл R3U.REZ);
4) оформить отчет.

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Теплоемкость влажного воздуха $c_{pв}$ – количество тепла, необходимое на изменение температуры одного килограмма влажного воздуха на 1 градус. В общем случае, когда влага в воздухе содержится в трех фазах, определяется по формуле:

$$c_{pв} = c_p + c_{п} d_{п} + c_{ж} d_{ж} + c_{л} d_{л},$$

где $c_p = 1,005$ [кДж/кгК] – теплоемкость сухого воздуха;
 $c_{п} = 1,97$ [кДж/кгК] – теплоемкость и $d_{п}$ – масса пара;
 $c_{ж} = 4,19$ [кДж/кгК] – теплоемкость и $d_{ж}$ – масса воды;
 $c_{л} = 2,09$ [кДж/кгК] – теплоемкость и $d_{л}$ – масса льда.

Теплоемкость влажного воздуха с учетом фазовых превращений $c_{pф}$ – количество тепла, необходимое на изменение температуры одного килограмма влажного воздуха на 1 градус, в том случае, когда во влажном воздухе происходит фазовое превращение, сопровождающееся дополнительным поглощением тепла. В общем случае, когда в воздухе протекают оба фазовых превращения (пар – вода, вода – лед), определяется по формуле:

$$c_{pф} = c_{pв} + r_{к} (\Delta d_{к} / \Delta t) + r_{л} (\Delta d_{л} / \Delta t),$$

где $r_{к} = 2500$ [кДж/кг] – теплота испарения–конденсации и $\Delta d_{к}$ – масса пара, участвовавшие в фазовом переходе пар–жидкость; $r_{л} = 335$ [кДж/кг] – теплота плавления–замерзания и $\Delta d_{л}$ – масса жидкости, участвовавшая в фазовом переходе жидкость–лед. Первое слагаемое учитывает теплоемкость влажного воздуха, а второе и третье – приходящуюся на интервал температуры Δt скрытую теплоту фазовых переходов пар–жидкость и жидкость–лед.



3.1.2. ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Для замыкания уравнения теплоемкости c необходимо к нему добавить условия, описывающие кинетику фазового перехода жидкость–лед. Для этого в работе используется специальная функция $A = f(t)$, имеющая следующий вид:

$$A = \begin{cases} 0, & \text{если } t > 0 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ 0 \dots 1, & \text{если } t = 0 \dots -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ 1, & \text{если } t < -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{cases}$$

В частности, эти условия означают, что при температуре выше нуля льда нет, при температуре ниже $-0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ вся сконденсировавшаяся влага находится в виде льда, а в интервале между ними количество льда линейно возрастает от нуля до 100 % всей сконденсировавшейся массы влаги. Причем интервал температур от нуля до $-0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ введен не из физических соображений, а исключительно для придания неразрывности функции $A = f(t)$. В противном случае происходит зависание ЭВМ.

3.1.3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящей работе производится расчет обоих вариантов теплоемкостей $c_{рф}$ и $c_{рв}$ при некоторых значениях абсолютного давления P влагосодержания d и заданном интервале температуры t . В заключение работы строятся графики зависимости $c_{рв}$, $c_{рф} = f(t)$.

3.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.2.1. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа расчета теплоемкости влажного воздуха состоит из головной программы и блока подпрограмм, предназначенных для ввода исходных данных и собственно расчета теплоемкости.

Головная программа. Предназначена для управления процессами ввода и вывода данных, а также для запуска программы на счет.

Блок ввода и вывода данных. Состоит из двух подпрограмм (UID, PR), организующих ввод исходных данных в программу и вывод конечных результатов (текст UID см. Приложение).

Блок расчетных подпрограмм. Состоит из одной управляющей подпрограммы CX1, задающей последовательность расчета теплоемкости и выдающей на дисплей информацию о ходе вычислений, а также блока подпрограмм теплофизических свойств влажного воздуха – TSV (текст блока TSV см. Приложение), описывающих формулы для их расчета. В процессе работы управляющая подпрограмма CX1 выдает на экран информацию о ходе своей работы в виде: GO R3U: 100 %, где значения цифр быстро изменяются от нуля до N.



3.2.2. ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В программе расчета теплоемкости выдается следующая информация о используемых исходных данных:

T0,С	Т0,С	N	D0,г	P, кПа	IRT
-50.0	50.0	100	20.	101.3	1

где T0, Т0 – начальное и конечное значения температур, в интервале между которыми рассчитываются значения теплоемкости [°С]; N – число шагов разбиения всего интервала; D0 – влагосодержание воздуха, [г/кг с.в.]; P – абсолютное давление воздуха, [кПа]; IRT – вспомогательный ключ для задания варианта расчета теплоемкости (в настоящей работе IRT = 1).

3.2.3. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Вывод результатов расчета производится подпрограммой PR. В процессе ее работы непосредственно на экран выводится справочная информация, сообщающая о проценте заполнения файла результатов R3U.REZ в виде: FILE R3U.REZ: 100 %, где значения цифр быстро изменяются от нуля до N. Результаты расчета помещаются в специальный файл результатов R3.REZ, который создается автоматически. После окончания работы с программой в этом файле можно будет просмотреть все просчитанные варианты в хронологическом порядке. Выходные данные представлены в удобной для чтения табличной форме, формат которой задается в подпрограмме SUBROUTINE PR.

3.3. ТЕКСТ ПРОГРАММЫ (ФАЙЛ R3U.FOR)

```
C PROGRAM ТЕПЛОЕМКОСТЬ 2 R3U.FOR
BLOCK DATA
COMMON/DAN/T0,TO,N,D0,P,IRT
DATA T0,TO,N,D0,P,IRT/-50.,50.,100,20.,101.325,1/
END
COMMON/DAN/T0,TO,N,D0,P1,IRT
COMMON/REZ/B(7,100)
OPEN (50,FILE='R3U.REZ')
11 CALL UID(IO)
IF(IO.EQ.0) GOTO 10
TSH=(TO-T0)/N
CALL CX1(TSH)
CALL PR
GOTO 11
10 CONTINUE
STOP
END
```



```
SUBROUTINE CX1(TSH)
COMMON/DAN/T0,TO,N,D0,P1,IRT
COMMON/REZ/B(7,100)
T1=T0
P2=P1
PRINT 55
55  FORMAT(1X,'GO  R3U : ')
DO 1 I=1,N
T2=T1+TSH
CPV=CPB(T1,P1,D0,IRT)
CALL FCPV(T1,P1,T2,P2,D0,IRT,CPX)
Q=CPV*(T2-T1)
B(1,I)=I*1.
B(2,I)=T1
B(3,I)=CPV
B(4,I)=CPX
B(5,I)=Q
T1=T2
PRINT 56,I
56  FORMAT(1H+,'GO  R3U : ',I4,'%$)
1  CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE PR
COMMON/DAN/T0,TO,N,D0,P1,IRT
COMMON/REZ/B(7,100)
1  CONTINUE
WRITE (50,2) P1,D0,IRT
2  FORMAT(
* 1X,' ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ : P=',
* F5.0,'КПА, D0=',F4.0,' ГР/КГ.!'
* '***** IRT = ',I3,' *****'/
* 1X,66(1H-)/
* 1X,I NN I  T1,  I CPV,    I CPX(M),  I Q,  I'/
* 1X,I ПП I  "С  I КДЖ/КГ I КДЖ/КГ  I КВТ I'/
* 1X,I----I',4(8(1H-),1HI))
Z0=0.
PRINT 6
DO 4 I=1,N
PRINT 5,I
WRITE (50,3) (B(I1,I),I1=1,5)
Z=Z0+I
IF(Z.EQ.10.) WRITE(50,7)
IF(Z.EQ.10.) Z0=(-1.)*I
3  FORMAT(1X,1HI,F4.0,1HI,4(F7.3,' I'))
4  CONTINUE
5  FORMAT(1H+,'FILE R3U.REZ :',I4,'%$)
6  FORMAT(1H,'FILE R3U.REZ :')
7  FORMAT(' I----I',4(8(1H-),1HI))
```



RETURN
END

3.4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Но- мер вари- анта	$T_0,$ $^{\circ}\text{C}$	$T_1,$ $^{\circ}\text{C}$	N	$D_0,$ г/кг	P, кПа
1	-50	50	100	20	25
2	-50	50	100	20	50
3	-50	50	100	20	75
4	-50	50	100	20	100
5	-50	50	100	20	125
6	-50	50	100	20	150
7	-50	50	100	20	175
8	-50	50	100	20	200
9	-50	50	100	20	225
10	-50	50	100	20	250
11	-50	50	100	20	275
12	-50	50	100	20	300
13	-50	50	100	20	325
14	-50	50	100	20	350
15	-50	50	100	20	375
16	-50	50	100	20	400
17	-50	50	100	20	425
18	-50	50	100	20	450
19	-50	50	100	20	475
20	-50	50	100	20	500