

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



А.Н. Носков

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ
ПАРОКОМПРЕССОРНЫХ
ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН**

Учебно-методическое пособие



**Санкт-Петербург
2014**

УДК 621.514

Носков А.Н. Исследование энергетической эффективности циклов двухступенчатых парокompрессорных холодильных машин: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 23 с.

Приведены методические указания к составлению программ расчета на ЭВМ энергетической эффективности различных циклов двухступенчатых паровых холодильных машин и проведению анализа полученных результатов. Издание адресовано бакалаврам и магистрантам направления 141200 всех форм обучения.

Рецензент: канд техн. наук, доц. Н.Ф. Крупененков

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Института холода и биотехнологий**



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, 2014

© Минко И.С., 2014

ВВЕДЕНИЕ

Парокомпрессорные холодильные машины имеют наибольшее применение для искусственного охлаждения в широком интервале температур. Выбор цикла паровой холодильной машины зависит, прежде всего, от температуры конденсации и от температуры кипения рабочего вещества. Увеличение отношения давления конденсации к давлению кипения p_k / p_0 , т. е. степени повышения давления, и разности давлений $p_k - p_0$, приводит к уменьшению объемных и энергетических коэффициентов компрессоров, росту температуры нагнетания, что может вызвать температурные деформации деталей компрессоров, а так же пригорание масла в нагнетательных клапанах поршневых компрессоров и, как крайний случай, самовозгорание масла. Кроме этого происходит возрастание необратимых потерь, связанных с дросселированием и перегревом пара хладагента в процессе сжатия в компрессоре.

Все перечисленные факторы являются причинами, по которым при $p_k / p_0 > 8$ необходимо переходить к двухступенчатым холодильным машинам.

Эффективность работы холодильной машины в значительной степени определяется энергетической эффективностью, для оценки которой служит холодильный коэффициент, показывающий, какое количество холода вырабатывает холодильная машина при затрате единицы количества работы.

Целью работы является исследование влияния различных циклов кступенчатой холодильной машины при использовании различных рабочих веществ на ее энергетическую эффективность.

1. Принципиальная схема и цикл двухступенчатой паровой холодильной машины

Существуют схемы двухступенчатых паровых холодильных машин с однократным и двукратным дросселированием.

В первом случае большая часть жидкого рабочего вещества после конденсатора идет через змеевик промежуточного сосуда, а меньшая – дросселируется во вспомогательном дроссельном вентиле и поступает в промежуточный сосуд. Жидкое рабочее вещество, идущее по змеевику, охлаждается за счет передачи теплоты более

холодной жидкости, и затем поступает к основному регулирующему вентилю, где дросселируется и поступает в испаритель.

Во втором случае весь жидкое рабочее вещество после конденсатора дросселируется в первом вентиле и поступает в промежуточный сосуд, где разделяется на сухой насыщенный пар и насыщенную жидкость, которая затем поступает к основному регулирующему вентилю, где дросселируется и поступает в испаритель.

Холодильный коэффициент холодильной машины работающей по циклу с однократным дросселированием несколько уступает холодильному коэффициенту холодильной машины работающей по циклу с двукратным дросселированием. Это связано с тем, что жидкость в змеевике охлаждается не до температуры кипения, соответствующей давлению в промежуточном сосуде, а оказывается на 3...5 °С выше этой температуры из-за недорекуперации.

Однако, несмотря на это двухступенчатые холодильные машины, работающие по циклу с однократным дросселированием, широко распространены, так как имеют ряд эксплуатационных преимуществ. Жидкое рабочее вещество, поступающее в змеевик промежуточного сосуда, охлаждается в нем, не соприкасаясь с жидкостью в сосуде, благодаря чему не загрязняется маслом, приносимым паром из компрессора первой ступени. Кроме того, жидкость в змеевике находится под давлением конденсации достаточным для подачи в испарители, находящиеся в верхних этажах здания или в помещениях, значительно удаленных от машинного отделения [1–6].

Далее будем рассматривать циклы двухступенчатых холодильных машин с однократным дросселированием.

Принципиальная схема и теоретический цикл двухступенчатой холодильной машины с однократным дросселированием и неполным промежуточным охлаждением приведен на рис. 1. В холодильной машине, работающей по такой схеме, рабочее вещество в состоянии сухого насыщенного пара (точка 1) поступает в компрессор первой ступени *I*, где изоэнтропно сжимается (процесс 1–2) и направляется в промежуточный теплообменник *II*. В теплообменнике рабочее вещество охлаждается (процесс 2–3) за счет окружающей среды. Наличие теплообменника не обязательно и зависит от режима работы машины и рабочего вещества. Так если температура точки 2 ниже температуры окружающей среды, его установка теряет смысл. После теплообменника происходит смешение рабочего вещества, идущего

из компрессора первой ступени и из промежуточного сосуда VI. После смешения состояние рабочего вещества определяется точкой 4. Затем рабочее вещество поступает в компрессор второй ступени III, где изоэнтропно сжимается (процесс 4–5), потом – в конденсатор IV, где сначала охлаждается до состояния сухого насыщенного пара и конденсируется (процесс 5–6). Большая часть рабочего вещества идет через змеевик промежуточного сосуда, а меньшая – дросселируется во вспомогательном дроссельном вентиле V (процесс 6–7). В промежуточном сосуде влажный пар, который получился после дросселирования, делится на составляющие: сухой насыщенный пар (состояние 8), идущий во вторую ступень, и насыщенную жидкость (состояние 9), скапливающуюся в нижней части промежуточного сосуда.

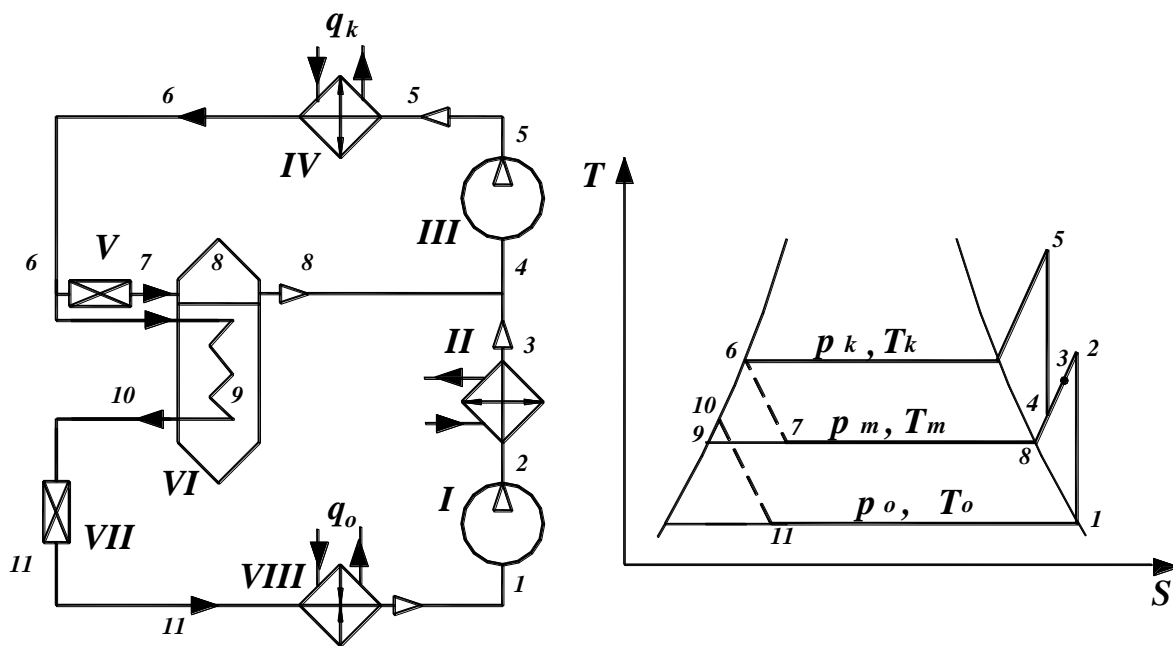


Рис. 1. Схема и цикл двухступенчатой холодильной машины с однократным дросселированием и неполным промежуточным охлаждением

Под воздействием теплоты, которая поступает от рабочего вещества, идущего по змеевику, жидкость кипит при промежуточном давлении p_m . Пар, образовавшийся при кипении, также отсасывается компрессором второй ступени. Рабочее вещество, которое идет по змеевику, охлаждается (процесс 6–10), затем дросселируется в основном дроссельном вентиле VII (процесс 10–11) и поступает в испа-

ритель *VIII*, где кипит за счет подвода теплоты от источника низкой температуры (процесс 11–1).

Принципиальная схема и теоретический цикл двухступенчатой холодильной машины с однократным дросселированием и полным промежуточным охлаждением приведен на рис. 2. Эта схема отличается от предыдущей тем, что пар рабочего вещества после промежуточного холодильника *II* поступает в промежуточный сосуд *VI*. В промежуточном сосуде рабочее вещество, за счет непосредственного контакта с более холодным жидким рабочим веществом, охлаждается до состояния сухого насыщенного пара при давлении p_m (точка 4). После этого рабочее вещество всасывается компрессором второй ступени *III* и далее процесс проходит, как и по предыдущей схеме.

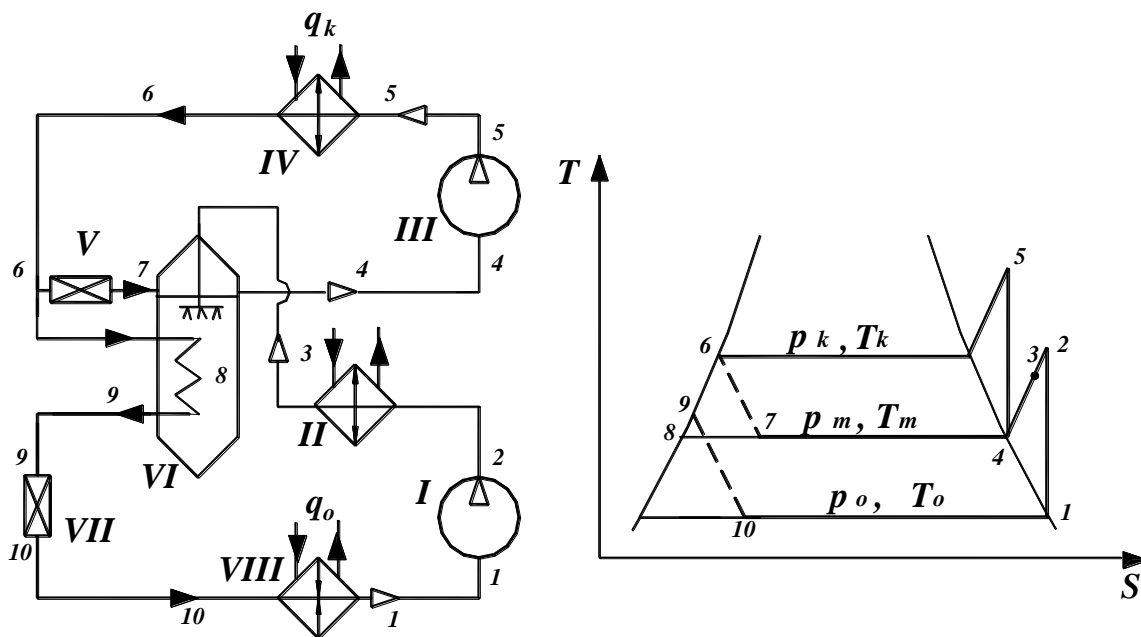


Рис. 2. Схема и цикл двухступенчатой холодильной машины с однократным дросселированием и полным промежуточным охлаждением

2. Расчет термодинамических свойств рабочих веществ

Для расчета термодинамических свойств рабочих веществ использовались зависимости, предложенные в работах [7, 8].

В основе расчета параметров пара рабочих веществ лежит уравнение состояния в форме Боголюбова-Майера:

$$z = \frac{p \cdot v}{R \cdot T} = 1 + \sum_{i=1}^r \beta_i \cdot \rho^i,$$

где z – коэффициент сжимаемости; p – давление; v – удельный объем; R – газовая постоянная; T – температура; ρ – удельная плотность.

$$\beta_i = \sum_{j=0}^{s_i} \beta_{ij} / \tau^i,$$

где $\tau = T/T_{кр}$ – приведенная температура; $T_{кр}$ – критическая температура; β_{ij} – вириальные коэффициенты.

Энтальпия и энтропия пара хладагента определялась с помощью следующих термодинамических соотношений:

$$i = \int c_v^0 dT + T^2 \int \left[\frac{\partial \left(\frac{p}{T} \right)}{\partial T} \right]_v dv + pv + \text{const};$$
$$s = \int c_v^0 \frac{dT}{T} + \int \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv + \text{const},$$

Изохорная теплоемкость в идеально-газовом состоянии

$$c_v^0 = \sum_{i=0}^n d_i \cdot \tau^i,$$

где d_i – коэффициенты.

Зависимости для расчета параметров жидкого рабочего вещества приведены в [5, 6].

Подпрограммы, позволяющие рассчитать на ЭВМ термодинамические свойства рабочих веществ, приведены в Приложении.

3. Расчет энергетической эффективности циклов двухступенчатых паровых холодильных машин

Энергетическая эффективность цикла определяется величиной холодильного коэффициента. Последовательность определения холодильного коэффициента цикла двухступенчатой паровой холодильной машины с однократным дросселированием и неполным промежуточным охлаждением приведена в учебных пособиях [9, с. 14–15] и [10, с. 26–29], а такого же цикла, но с полным промежуточным охлаждением в учебных пособиях [9, с. 15–16] и [10, с. 29–31].

Программа определения энергетической эффективности цикла двухступенчатой паровой холодильной машины приведена в Приложении. Вызов подпрограмм для расчета термодинамических параметров рабочего вещества производится оператором CALL RII, где RII – имена рабочих веществ: R22; R12; R717.

Исходными данными для расчета холодильного коэффициента служат: холодопроизводительность Q_0 (T0)*, кВт; температура кипения t_0 (T0), °С; температура конденсации t_k (TK). °С.

Исходные данные для расчета задаются преподавателем. В результате расчета определяются: изоэнтروпная мощность компрессора первой и второй ступени N_{s1} (NS1) и N_{s2} (NS2), кВт; температура пара в конце процесса изоэнтропного сжатия в компрессоре второй ступени T_5 (T5), °С; холодильный коэффициент ϵ (EPSIL).

В программе, приведенной в Приложении, отсутствует блок расчета мощностей компрессоров, температуры пара в конце процесса изоэнтропного сжатия в компрессоре второй ступени и холодильного коэффициента цикла двухступенчатой холодильной машины с однократным дросселированием, который студент должен составить самостоятельно, используя подпрограммы, приведенные в таблице.

Анализируя полученные зависимости величин холодильных коэффициентов и температур пара в конце процесса изоэнтропного сжатия в компрессоре второй ступени от выбранной схемы двухступенчатой холодильной машины, студент определяет энергетическую целесообразность применения той или иной схемы для различных рабочих веществ.

* Рядом с обозначением в скобках записан идентификатор, определяющий эту величину в программе.

**Подпрограммы для блока расчета работы, холодопроизводительности
и холодильного коэффициента цикла двухступенчатой
холодильной машины**

Обозначение подпрограммы	Назначение подпрограммы
PHAC (P, T)	Определение давления насыщения по температуре T
PL (TP, PP, ROP)	Определение плотности пара ROP по температуре TP и давлению PP
IROT(ROI, TI, E)	Определение энтальпии пара E по плотности ROI и температуре TI
SCPJ (IAG,T,CPJ)	Определение теплоемкости насыщенной жидкости CPJ по температуре T
IJDK(P1, EJ)	Определение энтальпии насыщенной жидкости EJ по давлению P1
SROT(ROS, TS, S)	Определение энтропии пара S по плотности ROS и температуре TS
SAD(T, P1, P2, T, E)	Определение температуры T и энтальпии E конца изэнтропного сжатия по температуре T и давлению всасывания P1 и давлению нагнетания P2

Единицы измерения:

давление – Бар = 10^5 Па; энтальпия – кДж/кг;
 температура – К; энтропия – кДж/(кг·К);
 плотность – кг/дм³; теплоемкость – кДж/(кг·К)

ПРИЛОЖЕНИЕ

Программа определения энергетической эффективности
цикла двухступенчатой паровой холодильной машины

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
REAL*8 LS
OPEN(5,FILE='IN.DAT')
OPEN(6,FILE='OFF.DAT')
READ(5,*) IAG
      IF(IAG.EQ.22) CALL R22
      IF(IAG.EQ.12) CALL R12
      IF(IAG.EQ.717) CALL R717
```

```
C
C
C
C
C
C
C
```

Ввод исходных данных

```
Q0 – холодопроизводительность – кВт;
T0 – температура кипения – °C;
TK – температура конденсации – °C.
```

```
READ (5,*) Q0, T0,TK
```

```
*****
```

**Блок расчета мощностей компрессоров, температуры пара в
конце процесса изоэнтропного сжатия в компрессоре второй
ступени и холодильного коэффициента цикла двухступенчатой
холодильной машины с однократным дросселированием с
полным или неполным промежуточным охлаждением.**

```
*****
```

Вывод результатов расчета

```
NS1 – изоэнтропная мощность компрессора первой ступени – кВт;
NS2 – изоэнтропная мощность компрессора второй ступени – кВт;
T5 – температуры пара в конце процесса изоэнтропного сжатия в  
компрессоре второй ступени – °C;
EPSIL – холодильный коэффициент.
```

```
WRITE(6,100) Q0,T0,TK,NS1,NS2,T5,EPSIL
```

```
100 FORMAT(2X,' Q0=',F5.1,2X,'кВт', ' T0=',F5.1,1X,'град C',2X,' TK=',F4.1,1X,  
* 'град C '/2X,' NS1=',F5.2,'кВт',1X, ' NS2=',F5.2,1X, 'кВт', ' T5=',F5.1, 'град C'
```

```
/
```

```
*2X,' EPSIL=',F5.3)
```

```
1 CONTINUE
```

```
STOP
```

```
END
```

C ***** ПОДПРОГРАММЫ *****

```
SUBROUTINE PHAC(T,P)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A/TKP1,R,ROKP1
COMMON /B/RI,PA,E(5),PKP
TAY=T/TKP1
BB=RI-4.+PA
A=0.
```

```
    DO 1 I=1,5
    A=A+E(I)*BB*TAY**(I-2)
1    CONTINUE
    P=EXP(ALOG(PKP)+(RI-5.3*BB)*ALOG(TAY)+A)
    RETURN
    END
```

```
C
SUBROUTINE THAC(P,T)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
T=TKP1
DT=50.
1 T1=T/TKP1
  CALL PHAC(T,P1)
  IF(ABS(P1-P)/P1.LT.0.0001) GOTO2
  IF(P1-P.GT.0) GOTO3
  T=T+DT
  DT=DT/5.
  T=T-DT
  GOTO1
3 T=T-DT
  GOTO1
2 CONTINUE
  RETURN
  END
```

```
C
SUBROUTINE IJDK (P1,EJ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
CALL THAC(P1,T)
CALL RPAR(T,RP1)
CALL PL(T,P1,RO1)
CALL IROT(RO1,T,EP)
EJ=EP-RP1
RETURN
END
```

```
C
SUBROUTINE SCPJ (IAG,T,CPJ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
```

```

IF(IAG.EQ.22) CPJ=1.171-0.001833*(273.15-T)
IF(IAG.EQ.717) CPJ=4.61-0.004333*(273.15-T)
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE RPAR(T,RP)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
* /B/RI,PA,E(5),PKP
TAY=T/TKP1
CALL PHAC(T,PO)
BB=RI-4.+PA
A=0.
DO 1 I=1,5
1 A=A+(I-2)*E(I)*BB*TAY**(I-3)
DP=PO/TKP1*((RI-5.3*BB)/TAY+A)
CALL PLJIDK(T,ROJ1)
CALL PL(T,PO,ROP)
RP=DP*T*(1./ROP-1./ROJ1)/10.
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE PLJIDK(T,ROJ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
* /C/A1,A2,G(4)
TAY=T/TKP1
A=0.
DO 1 I=1,4
1 A=A+G(I)*TAY**(I-1)
ROJ=EXP(ALOG(ROKP1)+A1*(1.-TAY)**(1./3.))+A2*A)
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE PL(TP,PP,ROP)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
ZP=1
2 ROP=PP/(10.*R*ZP*TP)
ZO=ZP
CALL PF(ROP,TP,ZP,PP1)
IF(ABS(ZO-ZP).GT.0.000001) GO TO 2
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE PF(ROP,TP,Z,P1)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)

```

```

COMMON/A/TKP1,R,ROKPI
EXTERNAL KDABL
CALL P(KDABL,ROP,TP,P2)
Z=P2
P1=10.*P2*TP*ROP*R
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE P(K,RO,T,P2)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /A/TKP1,R,ROKPI
*   /E/B(10,10)
*   /O/M,N
EXTERNAL K
DO 7 I=1,N
DO 7 J=1,M
7 CONTINUE
TKP=TKP1
P1=0.
M1=M+1
DO2 I=1,N
DO2 J=1,M1
J1=J-1
CALL K(I,J1,X)
P1=P1+X*B(I,J)*(RO**I)/((T/TKP)**(J-1))
2 CONTINUE
P2=1.+P1
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE KDABL(I,J,DB)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
IP=I
JP=J
DB=1.
RETURN
END

```

C

```

SUBROUTINE IROT(ROI,TI,EI)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
EXTERNAL KENTAL
COMMON/A/TKP1,R,ROKPI
*   /D/D(10),CONSTS,CONSTI
*   /O/M,N
AE2=0.
DO1 I=1,N
AE2=AE2+D(I+1)*((TI/TKP1)**(I+1))/(I+1)

```

```

1 CONTINUE
  CALL P(KENTAL,ROI,TI,P1)
  AE1=P1
  EI=R*TI*AE1+TKP1*D(1)*(TI/TKP1)+TKP1*AE2+CONSTI
  RETURN
  END

C
  SUBROUTINE KENTAL(I,J,EN)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  A=J
  EN=(I+A)/I
  RETURN
  END

C
  SUBROUTINE SROT(ROS,TS,S)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  EXTERNAL KENTPO
  COMMON/A/TKP1,R,ROKPI
  * /D/D(10),CONSTS,CONSTI
  * /O/M,N
  AS2=0.
  DO3 I=1,N
  AS2=AS2+D(I+1)*((TS/TKP1)**I)/I
3 CONTINUE
  CALL P(KENTPO,ROS,TS,P1)
  AS1=P1
  S=-R*(ALOG(ROS)+1.-AS1)+D(1)*ALOG(TS/TKP1)+AS2+CONSTS
  RETURN
  END

C
  SUBROUTINE KENTPO(I,J,ENT)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  A=I
  ENT=(J-1)/A
  RETURN
  END

C
  SUBROUTINE SAD(T,P1,P2,T2,E2)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  COMMON/A/TKP1,R,ROKPI
  CALL PL(T,P1,R1)
  CALL SROT(R1,T,S1)
  CALL THAC(P2,TH)
  DT=5.
  TT=TH-DT
1 TT=TT+DT
  CALL PL(TT,P2,R2)

```

```

CALL SROT(R2,TT,S2)
IF(ABS(S2-S1).LT.0.00001) GOTO 2
IF(S2.LT.S1) GO TO 1
TT=TT-DT
DT=DT/2.
GO TO 1
2 CONTINUE
TTA=TT
CALL IROT(R2,TTA,E2)
V=1./R2
T2=TTA-273.15
RETURN
END

```

```

C***** R22 *****
C ПОДПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА
C ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ R22
C*****

```

```

SUBROUTINE R22
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
* /B/RI,PA,E(5),PKP
* /C/A1,A2,G(4)
* /D/D(10),CONSTS,CONSTI
* /E/B(10,10)
* /O/M,N
DIMENSION B1(8,4),D1(6),G1(5),E1(5)
DATA B1/3.66665152,-5.2462247,4.39857440,.29127507,
*0.,4.68849357,0.,2.26127320,-10.3600870,12.6373640,
*-15.6830770,.658969983,0.,-7.4479789,0.,0.,8.07707623,
*-5.03431236,10.5818361,0.,0.,0.,0.,0.,-3.87451221,
*0.,0.,0.,0.,0.,0./
DATA D1/0.235330,.140050,.687033,-0.627135,.229319,-0.0319093/
DATA E1/-4.,3.3,.3,.2,.2/,G1/-.7,.3,.2,.2,0./
DO 5 I=1,10
DO 5 J=1,10
B(J,I)=0.
5 CONTINUE
DO 7 I=1,10
7 D(I)=0.
DO 1 I=1,4
DO 1 J=1,8
B(J,I)=B1(J,I)
1 CONTINUE
DO 2 I=1,6
2 D(I)=D1(I)
DO 3 I=1,5

```

```

E(I)=E1(I)
3 G(I)=G1(I)
PA=-.1644
RI=6.7964
A1=1.4892
A2=0.2865
PKP=49.9
TKP1=369.28
R=0.09616
ROKP1=0.5372
M=4
N=8
CONSTI=0.
CONSTS=0.
T=273.15
RO=0.0213
CALL IROT(RO,T,EE)
CONSTI=704.28-EE
CALL SROT(RO,T,S)
CONSTS=1.7479-S
WRITE (6,10)
10 FORMAT(' '//',5X,'*** ХОЛОДИЛЬНЫЙ АГЕНТ R22 ***'//)
RETURN
END
C***** R12 *****
C    ПОДПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ
C    РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ R12
C*****
SUBROUTINE R12
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
* /B/RI,PA,E(5),PKP
* /C/A1,A2,G(5)
* /D/D(10),CONSTS,CONSTI
* /E/B(10,10)
* /O/M,N
* /S/ SM0,CM
DIMENSION B1(8,4),D1(6),E1(5),G1(5)
DATA B1/4.1888369,-9.66065502,18.2867729,-.429799498,0.,5.25692699
*,0.,0.933965444,-11.4858003,21.9447268,-41.665652,.156717599,0.,
*,-6.40921321,0.,0.,8.6472583,-10.8438817,23.9101184,0.,0.,0.,0.,
*0.,-3.51695112,0.,0.,0.,0.,0.,0./
DATA D1/.0774432,0.707146,.0919702,-.513222,.302382,-.0576614 /
DATA E1/-4.,3.3,.3,.2,.2/,G1/-.7,.3,.2,.2,0./
DO 5 I=1,10
DO 5 J=1,10
B(J,I)=0.

```



```

5 CONTINUE
DO 7 I=1,10
7 D(I)=0.
DO 1 I=1,4
DO 1 J=1,8
B(J,I)=B1(J,I)
1 CONTINUE
DO 2 I=1,6
2 D(I)=D1(I)
DO 3 I=1,5
E(I)=E1(I)
3 G(I)=G1(I)
PA=-0.0913
RI=6.5741
PKP=41.19
A1=1.4388
A2=0.2338
TKP1=385.15
R=0.0687563
ROKP1=0.5791
M=4
N=8
CONSTI=455.08
CONSTS=3.8295
CM=269.
SM0=.1235E-04
PRINT 10
10 FORMAT(' '//',5X,'*** ХОЛОДИЛЬНЫЙ АГЕНТ R12 ***')
C***** R717 *****
C ПОДПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА
C ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ R717
C*****
SUBROUTINE R717
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/A/TKP1,R,ROKP1
* /B/RI,PA,E(5),PKP
* /C/A1,A2,G(4)
* /D/D(10),CONSTS,CONSTI
* /E/B(10,10)
* /O/M,N
DIMENSION B1(7,4),D1(6),E1(5),G1(5)
DATA B1/4.535640,-12.0457647,118.985614,-109.451026,
*-1095.97522,3436.96088,-4151.8895,
*-14.6817,74.4227631,-629.351137,2106.02214,
*-2799.47726,1525.29115,-839.346672,
*13.5886,-95.9087499,557.606974,-1785.21688,
*2461.60212,-943.536139,0.,

```

```

*-9.91264,50.8152618,-70.9903655,0.,
*0.,0.,0./
  DATA D1/1.7262,-1.447,2.5387,-1.2409,0.21857,0./,
*   E1/-4.,3.3,3,2,2/,
*   G1/-7.,3,2,2,0./
  DO 5 I=1,10
  DO 5 J=1,10
  B(J,I)=0.
5 CONTINUE
  DO 7 I=1,10
7 D(I)=0.
  DO 1 I=1,4
  DO 1 J=1,7
  B(J,I)=B1(J,I)
1 CONTINUE
  DO 2 I=1,4
2 D(I)=D1(I)
  DO 3 I=1,5
  E(I)=E1(I)
3 G(I)=G1(I)
  PA=-.3958
  RI=7.0284
  A1=1.6839
  A2=0.3859
  PKP=113.97
  TKP1=405.55
  R=0.48816
  ROKP1=0.235
  M=4
  N=7
  CONSTI=0.
  CONSTS=0.
  T=313.15
  RO=1.D-03/0.3424
  CALL IROT(RO,T,EE)
  CONSTI=1758.4-EE-1.3
  CALL SROT(RO,T,S)
  CONSTS=8.95-S
  WRITE (6,10)
10 FORMAT(' '//',5X,'*** ХОЛОДИЛЬНЫЙ АГЕНТ R717 ***'//)
  RETURN
  END

```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодильные машины: Учеб. / Под ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 2006. – 944 с.
2. **Курылев Е.С., Герасимов Н.А.** Холодильные установки. – Л.: Машиностроение, 1980. – 622 с.
3. Судовые машины, установки, устройства и системы / В.М. Харин, О.Н. Занько, Б.Г. Декин, В.Т. Писклов. – М.: ТрансЛит, 2010. – 648 стр.
4. **Доссат Р. Дж., Хоран Т. Дж.** Основы холодильной техники. – М.: Техносфера, 2008. – 824 с.
5. <http://www.ngpedia.ru>
6. <http://www.nehudlit.ru>
7. **Бухарин Н.Н.** Моделирование характеристик центробежных винтовых компрессоров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 216 с.
8. **Перельштейн И.И., Парушин Е.Б.** Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и теплотрансформаторов. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. – 232 с.
9. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / Под ред. И.А. Сакуна. – Л.: Машиностроение, 1987. – 423 с.
10. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин, тепловых насосов и термотрансформаторов. Ч.1. Расчет циклов, термодинамических и теплофизических свойств рабочих веществ: Учеб. пособие / Под ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 260 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Принципиальная схема и цикл двухступенчатой паровой холодильной машины	3
2. Расчет термодинамических свойств рабочих веществ.....	7
3. Расчет энергетической эффективности циклов двухступенчатых паровых холодильных машин.....	8
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	10
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	19

Носков Анатолий Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ
ПАРОКОМПРЕССОРНЫХ
ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН**

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор

Т.Г. Смирнова

Редактор

Р.А. Сафарова

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Печатается

в авторской редакции

Подписано в печать 30.04.2014. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 1,4. Печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,25

Тираж 70 экз. Заказ № С 31

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9