1. Найдем параметры p, v,T в характерных точках цикла.
   1. В точке 1

p₁v₁ = RСО T₁ => T₁ = p₁v₁: RСО

T₁ = (3 ·10⁵ · 0,32) : 296,8 = 0,0032345 · 10⁵ = 323,5 К

* 1. В точке 2

Процесс 1-2 – изотермический, Т = соnst, =>

Т₁ = Т2 = 323,5 К

Зависимость между начальными и конечными параметрами определяется формулой: р₁:р2 = v2:v₁ => р2 = р₁ х (v2:v₁)

р2 = 3 ·10⁵ · 2,2 = 6,6 х·10⁵ Па

v1:v2 = 2,2 => v2 = v1:2,2 = 0,32:2,2 = 0,15 м³/кг

* 1. В точке 3

Процесс 2-3 – изохорный, v = соnst, =>

v 3 = v2 = 0,15 м³/кг

Зависимость между начальными и конечными параметрами определяется формулой: р2:р3 = Т2:Т3 => р3 = (р2 Т3):Т2

q2-3 = cv (Т3-Т2) => Т3= q2-3: cv + Т2

cv = µ cv: µСО = (5 · 4,19) : 28 = 0,75 кДж/кмоль\*К

Т3= (150:0,75) + 323,5 = 523,5 К

р3 = (6,6 · 10⁵ · 523,5): 323,5 = 10,68 · 10⁵ Па

* 1. В точке 4

Процесс 3-4 – изотермический, Т = соnst, =>

Т4 = Т3= 523,5К

Зависимость между начальными и конечными параметрами определяется формулой: р4:р3 = v3:v4 ; р4 v4= RТ4 => р4= RТ4 : v4

v4 = v1 = 0,32 м³/кг , т.к. процесс 1-4 –изохорный, v = соnst.

р4= (296,8 · 523,5) : 0,32 = 485546,25 Па = 4,86 · 10⁵ Па

1. Найдем энергетические характеристики u, h, s в каждой точке цикла.

ui = cv ti ,

где cv = (µ cv · 4,19): µСО = (5 · 4,19): 28 = 0,75 кДж/кмоль\*К

h i = cp ti ,

где cp = (µ cp · 4,19): µСО = (7 · 4,19): 28 = 1,048 кДж/кмоль\*К

s i = cvln(T i :273) + R i ln(v i :vн.у.) ,

где vн.у.- объем при нормальных условиях.

vн.у. = 22,4: µСО = 22,4: 28 = 0,8 м³/кг

* 1. В точке 1

u1 = cv t1 = 0,75 · (323,5-273) = 37,88 кДж/кмоль

h 1 = cp t1 = 1,048 · (323,5-273) = 52,9 кДж/кмоль

s 1 = cvln(T 1 :273) + R со ln(v 1 :vн.у.) = 0,75 ln(323,5 :273) +0,2968 ln(0,32 :0,8) = 0,127-0,272 = -0,145 кДж/кг\*К

* 1. В точке 2

u2 = cv t2 = 0,75 · (323,5-273) = 37,88 кДж/кмоль

h 2 = cp t2 = 1,048 · (323,5-273) = 52,9 кДж/кмоль

s 2 = cvln(T 2 :273) + R со ln(v 2 :vн.у.) = 0,75 ln(323,5 :273) +0,2968 ln(0,15 :0,8) = 0,127-0,497 = -0,37 кДж/кг\*К

* 1. В точке 3

u3 = cv t3 = 0,75 · (523,5-273) = 187,88 кДж/кмоль

h 3 = cp t3 = 1,048 · (523,5-273) = 262,52 кДж/кмоль

s 3 = cvln(T 3 :273) + R со ln(v 3 :vн.у.) = 0,75 ln(523,5 :273) +0,2968 ln(0,15 :0,8) = 0,488-0,497 = -0,009 кДж/кг\*К

* 1. В точке 4

u 4 = cv t4 = 0,75 · (523,5-273) = 187,88 кДж/кмоль

h 4 = cp t4 = 1,048 · (523,5-273) = 262,52 кДж/кмоль

s 4 = cvln(T 4 :273) + R со ln(v 4 :vн.у.) = 0,75 ln(523,5 :273) +0,2968 ln(0,32 :0,8) = 0,488-0,272 = 0,216 кДж/кг\*К

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Точка цикла | p х10⁵, Па | v,  м³/кг | T,  К | u, кДж/кмоль | h, кДж/кмоль | s, кДж/кг\*К |
| 1 | 3,0 | 0,32 | 323,5 | 37,88 | 52,9 | -0,145 |
| 2 | 6,6 | 0,15 | 323,5 | 37,88 | 52,9 | -0,37 |
| 3 | 10,68 | 0,15 | 523,5 | 187,88 | 262,52 | -0,009 |
| 4 | 4,86 | 0,32 | 523,5 | 187,88 | 262,52 | 0,216 |

Таблица 1 Параметры p, v, T, S, u, h в характерных точках цикла.

1. Найдем изменения внутренней энергии ∆ u, энтальпии ∆ h и энтропии ∆ s.

∆ u2-1 = u2 - u1 = 37,88-37,88 = 0 кДж/кмоль

∆ u3-2 = u3 – u2 = 187,88-37,88 = 150 кДж/кмоль

∆ u4-3 = u4 – u3 = 187,88-187,88 = 0 кДж/кмоль

∆ u1-4 = u1 – u4 = 37,88-187,88 = -150 кДж/кмоль

∆ h2-1 = h2 – h1 = 52,9-52,9 = 0 кДж/кмоль

∆ h3-2 = h3 – h2 = 262,52-52,9 = 209,62 кДж/кмоль

∆ h4-3 = h4 – h3 = 262,52-262,52 = 0 кДж/кмоль

∆ h1-4 = h1 – h4 = 52,9-262,52 = -209,62 кДж/кмоль

∆ s2-1 = s2 – s1 = -0,37-(-0,145) = -0,225 кДж/кг\*К

∆ s3-2 = s3 – s2 = -0,009-(-0,37) = 0,361 кДж/кг\*К

∆ s4-3 = s4 – s3 = 0,216-(-0,009) = 0,225 кДж/кг\*К

∆ s1-4 = s1 – s4 = -0,145-0,216 = -0,361 кДж/кг\*К

1. Найдем работу l рабочего тела во всех процессах цикла.

l1-2 = р1 v1 ln(v2:v1) = 3 ·10⁵ х 0,32 ln(0,15:0,32) = -0,727 ·10⁵ = -72,7 кДж/кг

l2-3 = 0 кДж/кг

l3-4 = р3 v3 ln(v4:v3) = 10,68 х10⁵ · 0,15 ln(0,32:0,15) = 1,214 ·10⁵ = 121,4 кДж/кг

l4-1 = 0 кДж/кг

1. Найдем теплоту q во всех процессах цикла.

q 1-2 = l1-2 = -72,7 кДж/кг

q 2-3 = ∆ u2-3 = 150 кДж/кмоль

q 3-4 = l3-4 = 121,4 кДж/кг

q 4-1 = ∆ u4-1 = cvm (t1 – t4) = 0,75 · (323,5-523,5) = -150 кДж/кмоль

Таблица 2 Изменения внутренней энергии ∆ u, энтальпии ∆ h и энтропии ∆ s, работа l, теплота q во всех процессах цикла.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Процессы  цикла | ∆ u, кДж/кмоль | ∆ h, кДж/кмоль | ∆ s, кДж/кг\*К | l,  кДж/кг | q,  кДж/кг |
| 1-2 | 0 | 0 | -0,225 | -72,7 | -72,7 |
| 2-3 | 150 | 209,62 | 0,361 | 0 | 150 |
| 3-4 | 0 | 0 | 0,225 | 121,4 | 121,4 |
| 4-1 | -150 | -209,62 | -0,361 | 0 | -150 |
| Σ | 0 | 0 | 0 | 48,7 | 48,7 |

1. Найдем термический КПД цикла и термический КПД цикла Карно, построенного в том же интервале температур.

ηt цикла = l0 : q₁ = (q₁ - q2) : q₁, где

q₁ = 150+121,4 = 271,4 кДж/кг

q2 = -72,7-150 = -222,7 кДж/кг

ηt цикла = (271,4-|-222.7|) : 271,4 = 0,18

ηt Карно = (Т₁-Т2) :Т₁ = (523,5-323,5) : 523,5 = 0,38

1. Цикл в p-v, T-S координатах.

T (К)

600

400

200

0

-0,4 -0,2 0 0,2 S (кДж/кг\*К)

Р х10⁵ Па

12

10

8

6

4

2

0

0,1 0,2 0,3 0,4 v (м3/кг)