

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОДКЛЮЧЕНИЕ РАБОЧЕЙ СМЕСИ

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОМПРИМИРОВАНИЯ

3.0. Известные параметры

3.1. Двухпоточный ТОА с дроссельной ступенью

3.1.1. Вариант 1. Известна термическая эффективность ТОА

3.2. Трехпоточный ТОА с дроссельной ступенью

3.2.1. Вариант 1. Известна недорекуперация основного потока и температура смеси на входе в аппарат

1. ПОДКЛЮЧЕНИЕ РАБОЧЕЙ СМЕСИ

[К содержанию...](#)

▼ Подключение смеси

➔ Ссылка: C:\Rfp8\rfp2mcd(c) Release [mcd14].xmcd

Состав смеси:

hfld1 := "C:\Rfp8\fluids\NITROGEN.FLD|"

NITROGEN.FLD

hfld2 := "C:\Rfp8\fluids\OXYGEN.FLD|"

OXYGEN.FLD

hfld := concat(hfld1, hfld2)

ARGON.FLD

i := 2

ierrSETUP(i, hfld, hfm, hrf) = 0

Примечание

1. Компоненты задавать в порядке возрастания нормальной температуры кипения.

Столбцы концентраций чистых компонентов смеси:

$$x_H := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_B := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

▲ Подключение смеси

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

(минимально необходимые для демонстрации расчета)

Давление на входе (асб.):

$$p_{\text{вх}} := 3 \text{ атм} = 303.98 \cdot \text{кПа}$$

$$p_{\text{раб}} := p_{\text{вх}}$$

Концентрация компонентов смеси (мольные):

$$C_{\text{N2}} := 0.79$$

$$C_{\text{O2}} := 0.21$$

Чистота низкокипящего компонента (азота):

$$C_{\text{нк}} := 0.99$$

Чистота высококипящего компонента (аргона):

$$C_{\text{вк}} := 0.95$$

Параметры исходной смеси:

$$x_{\text{см}} := \begin{pmatrix} C_{\text{N2}} \\ C_{\text{O2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.79 \\ 0.21 \end{pmatrix}$$

Параметры продукционных потоков на выходе из колонны:

$$x_{\text{пр}} := \begin{pmatrix} C_{\text{нк}} \\ C_{\text{вк}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 0.95 \end{pmatrix}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОМПРИМИРОВАНИЯ

3.0. Известные параметры

(Схему цикла см. в видео с соответствующим семинаром)

Диапазон рабочих температур колонны:

$$T_{\max} := T_{s_py} \left[p_{\text{раб}}, \begin{pmatrix} x_{\text{см}0} \\ 1 - x_{\text{см}0} \end{pmatrix} \right] = 92.4 \text{ K}$$

$$T_{\min} := T_{s_px} \left[p_{\text{раб}}, \begin{pmatrix} x_{\text{см}0} \\ 1 - x_{\text{см}0} \end{pmatrix} \right] = 89.9 \text{ K}$$

Зададим долю пара в питающем потоке:

$$y_{\text{П}} := 0.6 \quad x_{\text{Ж}} := 1 - y_{\text{П}} = 0.4$$

Температура вводимой в колонну смеси:

$$T_{\text{см.}} := 90 \text{ K} \quad \text{Given} \quad q_{\text{phz}}(p_{\text{раб}}, h_{\text{Трз}}(T_{\text{см.}}, p_{\text{раб}}, x_{\text{см}}), x_{\text{см}}) = y_{\text{П}}$$

$$T_{\text{см.}} := \text{Find}(T_{\text{см.}}) = 91.01 \text{ K}$$

* Вспомогательные функции

1. Расчет энтальпии по температуре и концентрации НК компонента:

$$h_{\text{ПБ_Тх}}(T, x) := h_{\text{Трз}} \left[T, p_{\text{раб}}, \begin{pmatrix} x \\ 1 - x \end{pmatrix} \right]$$

Вспомогательные функции *

В соответствии с обозначениями, принятыми на семинаре, точка ввода смеси в колонну обозначается как М. Параметры точки М:

$$h_{\text{М}} := h_{\text{ПБ_Тх}}(T_{\text{см}}, x_{\text{см}0}) = 7.7 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad x_{\text{М}} := x_{\text{см}0} = 0.79$$

Фазовый состав продукционного потока (рекуперированного) - и доля потока Р:

$$\begin{aligned} \text{РекПоток} &:= \begin{matrix} \text{Низкокипящий} \\ \text{Высококипящий} \end{matrix} & X_{\text{Р}} &:= \begin{cases} \begin{pmatrix} x_{\text{пр}0} \\ 1 - x_{\text{пр}0} \end{pmatrix} & \text{if РекПоток} = 1 \\ \begin{pmatrix} 1 - x_{\text{пр}1} \\ x_{\text{пр}1} \end{pmatrix} & \text{if РекПоток} = 2 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 0.01 \end{pmatrix} \\ \text{РекПотокФ} &:= \begin{matrix} \text{Жидкость} \\ \text{Пар} \end{matrix} \\ \text{Р} &:= 0.8 \end{aligned}$$

3.1. Двухпоточный ТОА с дроссельной ступенью

3.1.1. Вариант 1. Известна термическая эффективность ТОА

Для ТОА уравнение теплового баланса имеет вид:

$$i_1 + P \cdot i_4 = i_2 + P \cdot i_5$$

В данном случае не учитываются потери на компенсацию теплопритоков из окружающей среды. Этот аспект расчета предлагается на самостоятельное рассмотрение.

С учетом допущения о правомерности использования уравнения Менделеева-Клапейрона для точек 4 и 5 уравнение теплового баланса приводится к виду:

$$i_1(T_1, p_2, X_{см}) = i_2(X_{см}) + P \cdot (i_5(T_1, X_P) - i_4(X_P) - C_{p_}(T_1, X_P) \cdot \Delta T)$$

где:

- T_1 - температура смеси на входе в ТОА, независимый параметр;
- p_2 - искомое давление нагнетания (компримирования);
- $X_{см}$ - начальная концентрация компонентов смеси;
- X_P - концентрация компонентов смеси в продукционном потоке P ;
- i_2 - энтальпия смеси на выходе из ТОА и после дроссельного вентиля;
- P - доля продукционного потока относительно потока смеси M ;
- i_4 - энтальпия продукционного потока P ;
- $C_{p_}$ - усредненная теплоемкость продукционного потока;

$$C_{p_}(T_1, X_P) = \frac{C_{p_Tpz}(T_1, p_4, X_P) + C_{p_Tpz}(T_1 + \Delta T, p_4, X_P)}{2}$$

ΔT - недорекуперация ТОА на теплом конце;

p_4 - давление продукционного потока (давление в колонне).

Желаемая недорекуперация ТОА:

$$\Delta T := 12K$$

Сделаем подстановки:

$$i_1(T_1, p_2, X_{см}) = h_{Tpz}(T_1, p_2, X_{см})$$

$$i_2(X_{см}) = h_M$$

$$i_5(T_1, X_P) := h_{Tpz}(T_1, p_{раб}, X_P)$$

$$C_{p_}(T_1, X_P) := 0.5(C_{p_Tpz}(T_1, p_{раб}, X_P) + C_{p_Tpz}(T_1 - \Delta T, p_{раб}, X_P))$$

Если рекуперированный поток в жидкой фазе:

$$i_4(X_P) = h_{Tdx}(T_{s_px}(p_{раб}, X_P), \rho_{s_px}(p_{раб}, X_P), X_P)$$

Если рекуперированный поток в паровой фазе:

$$i_4(X_P) = h_{Tdx}(T_{s_py}(p_{раб}, X_P), \rho_{s_py}(p_{раб}, X_P), X_P)$$

В параметрическом виде:

$$i_4(X_P) := \begin{cases} h_{Tdx}(T_{s_px}(p_{раб}, X_P), \rho_{s_px}(p_{раб}, X_P), X_P) & \text{if РекПотокФ} = 1 \\ h_{Tdx}(T_{s_py}(p_{раб}, X_P), \rho_{s_py}(p_{раб}, X_P), X_P) & \text{if РекПотокФ} = 2 \end{cases}$$

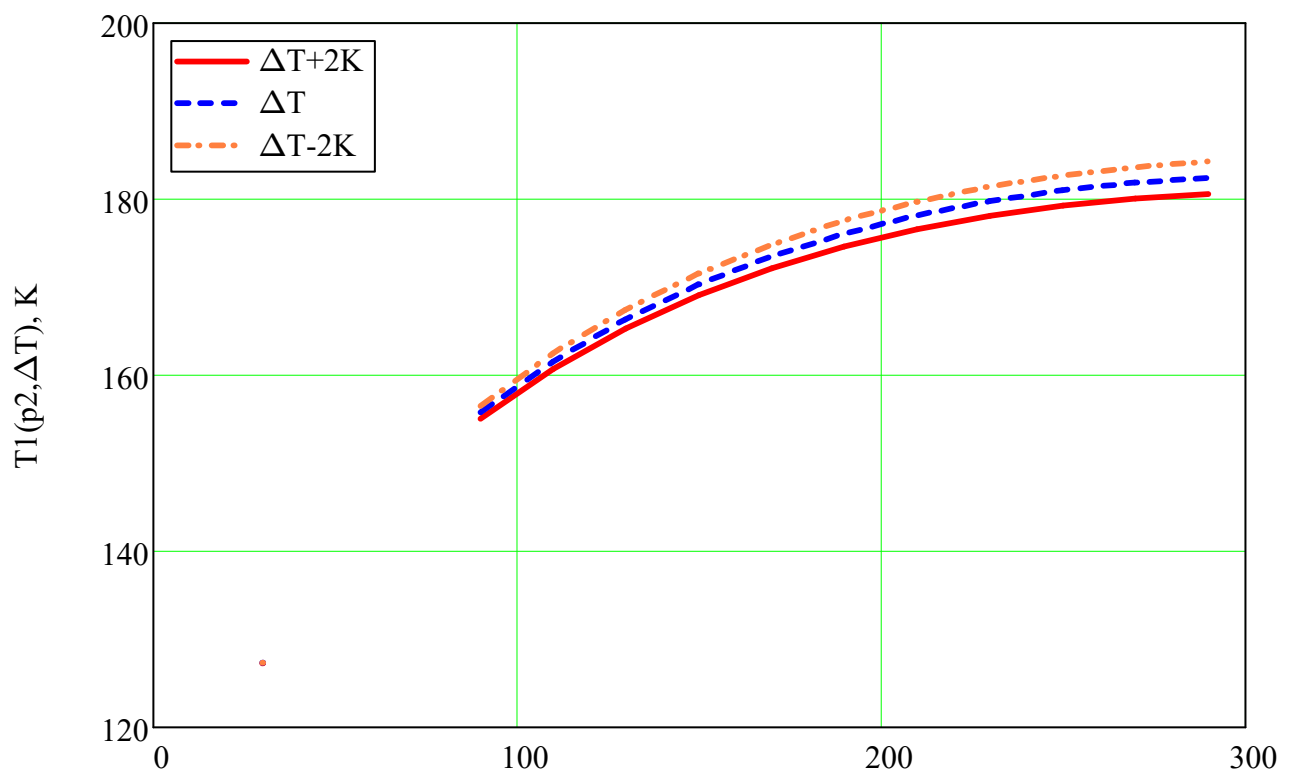
Представим и решим уравнение в виде:

$$\text{Given } T_1 := 200K$$

$$h_{Tpz}(T_1, p_2, x_{cm}) = h_M + P \cdot (i_5'(T_1, X_P) - i_4(X_P) - C_{p_}(T_1, X_P) \cdot \Delta T_s)$$

$$T_1(p_2, \Delta T_s) := \text{Find}(T_1)$$

$$p_2 := 10, 10 + 20 \dots 300$$



1. Чтобы цикл был работоспособен при значении температуры смесового потока на входе в ТОА, например 300K и доли пара 0.6, требуется дополнительный "холод". Обеспечить работу цикла даже за счет сверхвысокого давления компримирования (компрессии) нельзя. Максимальная температура на входе в ТОА смесового потока для эффективной работы цикла составляет 160K.

2. Если увеличить долю пара на входе в колонну до 0.8, то максимальная температура на входе в ТОА составит 185K при том же давлении, что в п.1.

3.2. Трехпоточный ТОА с дроссельной ступенью

3.2.1. Вариант 1. Известна недорекуперация основного потока и температура смеси на входе в аппарат

Температура смеси на входе в ТОА:

$$T_1 := 300\text{K}$$

Основной поток (доля расхода наибольшая)

Доля потока:

$$D := 0.8$$

Тип потока:

Dt :=

| |
|---------------|
| Низкокипящий |
| Высококипящий |

Фазовый состав:

Df :=

| |
|----------|
| Жидкость |
| Пар |

Недорекуперация по потоку (желаемая или обеспечиваемая ТОА):

$$\Delta T_D := 12\text{K}$$

Концентрации:

$$X_D := \begin{cases} \begin{pmatrix} x_{\text{пр}0} \\ 1 - x_{\text{пр}0} \end{pmatrix} & \text{if } Dt = 1 \\ \begin{pmatrix} 1 - x_{\text{пр}1} \\ x_{\text{пр}1} \end{pmatrix} & \text{if } Dt = 2 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 0.01 \end{pmatrix}$$

Вторичный поток (доля расхода наименьшая)

Доля потока: $R := 1 - D = 0.2$

Тип потока:

$$Rt := \begin{cases} 1 & \text{if } Dt = 2 \\ 2 & \text{if } Dt = 1 \end{cases} = 2 \quad Ft(Rt) = \text{"Высококипящий"}$$

Фазовый состав:

Rf :=

| |
|----------|
| Жидкость |
| Пар |

Концентрации:

$$X_R := \begin{cases} \begin{pmatrix} x_{\text{пр}0} \\ 1 - x_{\text{пр}0} \end{pmatrix} & \text{if } R_t = 1 \\ \begin{pmatrix} 1 - x_{\text{пр}1} \\ x_{\text{пр}1} \end{pmatrix} & \text{if } R_t = 2 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.95 \end{pmatrix}$$

Сделаем подстановки:

Общие:

$$i_1(T_1, p_2) := h_{\text{Tpz}}(T_1, p_2, x_{\text{см}})$$

$$i_2 := h_M$$

Для потока D:

$$i_5(T_1) := h_{\text{Tpz}}(T_1, p_{\text{раб}}, X_D)$$

$$i_4 := \begin{cases} h_{\text{Tdx}}(T_{s_px}(p_{\text{раб}}, X_D), \rho_{s_px}(p_{\text{раб}}, X_D), X_D) & \text{if } D_f = 1 \\ h_{\text{Tdx}}(T_{s_py}(p_{\text{раб}}, X_D), \rho_{s_py}(p_{\text{раб}}, X_D), X_D) & \text{if } D_f = 2 \end{cases}$$

$$C_{p_}(T_1, \Delta T) := 0.5(C_{p_ \text{Tpz}}(T_1, p_{\text{раб}}, X_D) + C_{p_ \text{Tpz}}(T_1 - \Delta T, p_{\text{раб}}, X_D))$$

Для потока R (переход к Cp не производится):

$$i_7(T_7, X_R) := h_{\text{Tpz}}(T_7, p_{\text{раб}}, X_R)$$

$$i_6 := \begin{cases} h_{\text{Tdx}}(T_{s_px}(p_{\text{раб}}, X_R), \rho_{s_px}(p_{\text{раб}}, X_R), X_R) & \text{if } R_f = 1 \\ h_{\text{Tdx}}(T_{s_py}(p_{\text{раб}}, X_R), \rho_{s_py}(p_{\text{раб}}, X_R), X_R) & \text{if } R_f = 2 \end{cases}$$

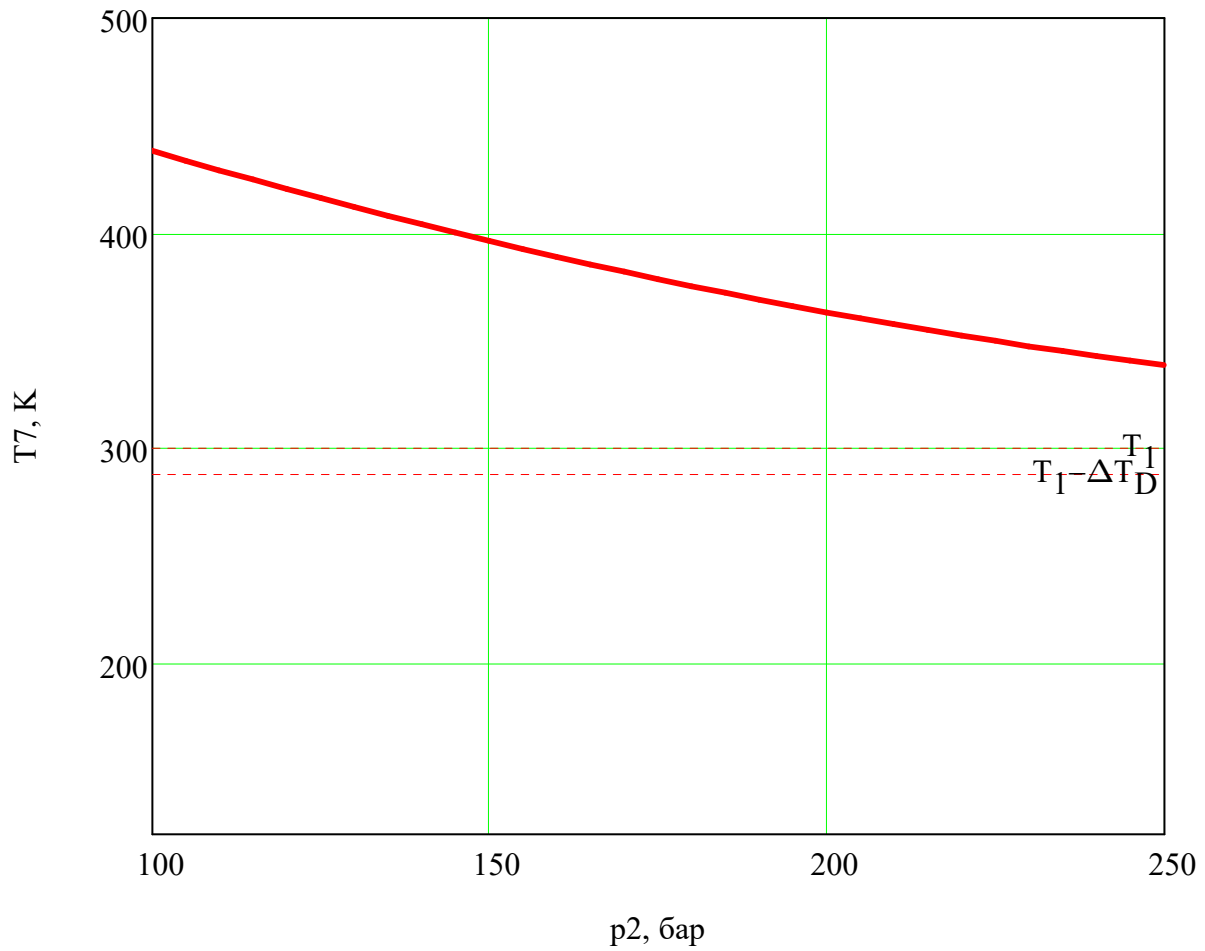
Представим и решим уравнение в виде:

$$T_7 := 250\text{K} \quad \text{Given}$$

$$i_7(T_7, X_R) = \frac{1}{R} \cdot \left[i_1(T_1, p_2) - i_2 \dots \right. \\ \left. + D \cdot \begin{pmatrix} i_4 - i_5(T_1) \dots \\ + C_{p_}(T_1, \Delta T_{1s}) \cdot \Delta T_{1s} \end{pmatrix} \right] + i_6$$

$$T_7(p_2, T_1, \Delta T_{1s}) := \text{Find}(T_7)$$

$$p_2 := 100, 100 + 5 \dots 250$$



$$C_{p_}(T_1, \Delta T, X_P) := 0.5(C_{p_Tpz}(T_1, p_{pa\delta}, X_P) + C_{p_Tpz}(T_1 - \Delta T, p_{pa\delta}, X_P))$$

$$i_{7'}(T_1) := h_{Tpz}(T_1, p_{pa\delta}, X_R)$$

$$\text{Given } T_1 := 200K$$

$$i_1(T_1, p_2) = D \cdot (i_{5'}(T_1) - C_{p_}(T_1, \Delta T_{1s}, X_D) \cdot \Delta T_{1s} - i_4) \dots \\ + [R \cdot (i_{7'}(T_1) - \bar{C}_{p_}(T_1, \Delta T_{2s}, X_R) \cdot \Delta T_{2s} - i_6) + i_2]$$

$$T_1(p_2, \Delta T_{1s}, \Delta T_{2s}) := \text{Find}(T_1)$$

$p_2 := 10, 10 + 20 \dots 300$

