

# **СОДЕРЖАНИЕ**

## **1. Подключение рабочей смеси**

## **2. Исходные данные**

## **3. Формулы, зависимости и варианты расчета**

### **3.1. Варианты расчета параметров ввода смеси в колонну**

#### **3.1.1. Задана температура вводимой в колонну смеси**

#### **3.1.2. Задан фазовый состав питающего потока**

### **3.2. Перевод массовых, мольных и объемных расходов к нормальным /рабочим условиям**

### **3.3. Минимальная работа разделения**

## **4. Построение диаграмм**

### **4.1. Диаграмма T-x**

### **4.2. Диаграмма y-x**

### **4.3. Диаграмма h-x**

## **5. Построение теоретических тарелок**

### **5.1. Метод Понсона-Бошняковича**

#### **5.1.1. Продукт - высококипящий компонент**

#### **5.1.2. Продукт - низкокипящий компонент**

### **5.2. Метод Мак-Кеба и Тиле**

#### **5.2.1. Продукт - высококипящий компонент**

#### **5.2.2. Продукт - низкокипящий компонент**

# 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 построения тарелок по двум методам):

Давление на входе (асб.):

$$p_{\text{вх}} := 3 \text{ атм} = 303975 \cdot \text{Па}$$

$$p_{\text{раб}} := p_{\text{вх}}$$

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):

$$C_{\text{вк}} := 0.95$$

### Примечание

1. Если чистота низкокипящего компонента выше (он является продукционным), то расчет проводится по функциям и графикам с формулировкой "концентрационная колонна";

2. Если чистота высококипящего компонента выше (он является продукционным), то расчет проводится по функциям и графикам с формулировкой "исчерпывающая колонна";

Параметры исходной смеси:

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

### 3. ФОРМУЛЫ, ЗАВИСИМОСТИ И ВАРИАНТЫ РАСЧЕТА

#### 3.1. Варианты расчета параметров ввода смеси в колонну

##### 3.1.1. Задана температура вводимой в колонну смеси

При этом температура должна быть в диапазоне:

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

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

$$T_{\text{см}} := 91 \text{ K}$$

Фазовый состав питающего потока

- доля пара

$$y_{\Pi} := q_{\text{phz}}(p_{\text{раб}}, h_{\text{Трз}}(T_{\text{см}}, p_{\text{раб}}, x_{\text{см}}), x_{\text{см}}) = 0.596$$

- доля жидкости

$$x_{\text{ж}} := 1 - y_{\Pi} = 0.404$$

##### 3.1.2. Задан фазовый состав питающего потока

Доля пара в питающем потоке:

$$y_{\Pi} := 0.6 \quad x_{\text{ж}} := 1 - y_{\Pi} = 0.4$$

Температура вводимой в колонну смеси:

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

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

### 3.2. Перевод массовых, мольных и объемных расходов к нормальным /рабочим условиям

Перевод мольного расхода в массовый:

$$G_{\text{моль} \rightarrow \text{кг}}(G, \text{xxx}) := G \cdot \mu_{\text{x}}(\text{xxx})$$

Перевод мольного расхода в массовый:

$$G_{\text{кг} \rightarrow \text{моль}}(G, \text{xxx}) := \frac{G}{\mu_{\text{x}}(\text{xxx})}$$

Перевод объемного расхода к мольному:

$$V_{\text{ммм} \rightarrow \text{моль}}(V, T, p, \text{xxx}) := \frac{V}{\mu_{\text{x}}(\text{xxx})} \cdot \rho_{\text{Tpz}}(T, p, \text{xxx})$$

Перевод мольного расхода к объемному:

$$V_{\text{моль} \rightarrow \text{ммм}}(V, T, p, \text{xxx}) := \frac{V \cdot \mu_{\text{x}}(\text{xxx})}{\rho_{\text{Tpz}}(T, p, \text{xxx})}$$

Перевод объемного расхода в массовый:

$$G_{\text{ммм} \rightarrow \text{кг}}(V, T, p, \text{xxx}) := V \cdot \rho_{\text{Tpz}}(T, p, \text{xxx})$$

Перевод массового расхода в объемный:

$$V_{\text{кг} \rightarrow \text{ммм}}(G, T, p, \text{xxx}) := \frac{G}{\rho_{\text{Tpz}}(T, p, \text{xxx})}$$

Перевод объемных расходов от НУ (20 °C, 760мм.рт.ст) к расчетным p,T:

$$V_{\text{ну} \rightarrow \text{раб}}(V, p, T, \text{xxx}) := \frac{V \cdot \rho_{\text{Tpz}}(T, p, \text{xxx})}{\rho_{\text{Tpz}}(293.14 \cdot \text{K}, 1 \text{ атм}, \text{xxx})}$$

Перевод объемных расходов от расчетных (p,T) к НУ (20 °C, 760мм.рт.ст):

$$V_{\text{раб} \rightarrow \text{ну}}(V, p, T, \text{xxx}) := \frac{V \cdot \rho_{\text{Tpz}}(293.14 \cdot \text{K}, 1 \text{ атм}, \text{xxx})}{\rho_{\text{Tpz}}(T, p, \text{xxx})}$$

### 3.3. Минимальная работа разделения

$$l_{\text{мин}} = -T_{\text{ос}} \cdot \Delta s_{\text{р.мин}}$$

Температура О.С.

$$T_{\text{ос}} := 20 \text{ }^{\circ}\text{C} = 293.1 \text{ K}$$

$$\Delta s_{\text{р.мин}} = -\Delta s_{\text{n}} \cdot P - \Delta s_{\text{w}} \cdot W + \Delta s_0 \cdot M_0$$

$$M_0 := 1 \cdot \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{с}}$$

- расход разделяемой смеси;

$$y_0 := C_{\text{нк}} = 0.99$$

- исходная концентрация в смеси;

$$P := 0.4 \cdot \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{с}}$$

- расход отхода;

$$W := 0.6 \cdot \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{с}}$$

- расход продукта;

$$y_{\text{n}} := C_{\text{нк}} = 0.99$$

- концентрация в отходе;

$$y_{\text{w}} := C_{\text{вк}} = 0.95$$

- концентрация в продукте

$$R_{\text{угп}} := 8.31 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}}$$

Согласно закону Дальтона:

$$\Delta s_{\text{n}} := R_{\text{угп}} \cdot [y_{\text{n}} \cdot \ln(y_{\text{n}}) + (1 - y_{\text{n}}) \cdot \ln(1 - y_{\text{n}})] = -0.465 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta s_{\text{w}} := R_{\text{угп}} \cdot [y_{\text{w}} \cdot \ln(y_{\text{w}}) + (1 - y_{\text{w}}) \cdot \ln(1 - y_{\text{w}})] = -1.65 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta s_0 := R_{\text{угп}} \cdot [y_0 \cdot \ln(y_0) + (1 - y_0) \cdot \ln(1 - y_0)] = -0.465 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta s_{\text{р.мин}} := -\Delta s_{\text{n}} \cdot P - \Delta s_{\text{w}} \cdot W + \Delta s_0 \cdot M_0 = 0.711 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$$

$$l_{\text{мин}} := -T_{\text{ос}} \cdot \Delta s_{\text{р.мин}} = -208.3 \cdot \text{Вт}$$

Для идеальной бинарной смеси при полном разделении:

$$l_{\text{мин0}} := \frac{-T_{\text{ос}} \cdot R_{\text{угп}}}{y_0} \cdot [y_0 \cdot \ln(y_0) + (1 - y_0) \cdot \ln(1 - y_0)] = 137.8 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$l_{\text{мин1}} := l_{\text{мин0}} \cdot W = 82.68 \cdot \text{Вт}$$

Мощность компрессоров в реальном цикле (задаться числом ступеней):

$$N_{k1} := \text{■} \cdot \text{кВт}$$

$$N_{k2} := \text{■} \cdot \text{кВт}$$

$$N_{k3} := \text{■} \cdot \text{кВт}$$

$$N_{k4} := \text{■} \cdot \text{кВт}$$

Мощность, реализующаяся в конденсаторе:

$$Q_k := \text{■} \cdot \text{кВт}$$

Мощность, реализующаяся в испарителе:

$$Q_{\text{и}} := \text{■} \cdot \text{кВт}$$

Работа разделения в реальном цикле на расход продукционного потока:

$$l := N_{k1} + N_{k2} + N_{k3} + N_{k4} + Q_k + Q_{\text{и}} = \text{■} \cdot \text{Вт}$$

Степень совершенства:

$$\eta := \frac{l_{\text{мин}}}{\text{■}} = \text{■} \cdot \%$$

$$\eta := \frac{l_{\text{мин1}}}{\text{■}} = \text{■} \cdot \%$$

## 4. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ

[К содержанию...](#)

### 4.1. Диаграмма Т-х

☑ Построение Т-х диаграммы

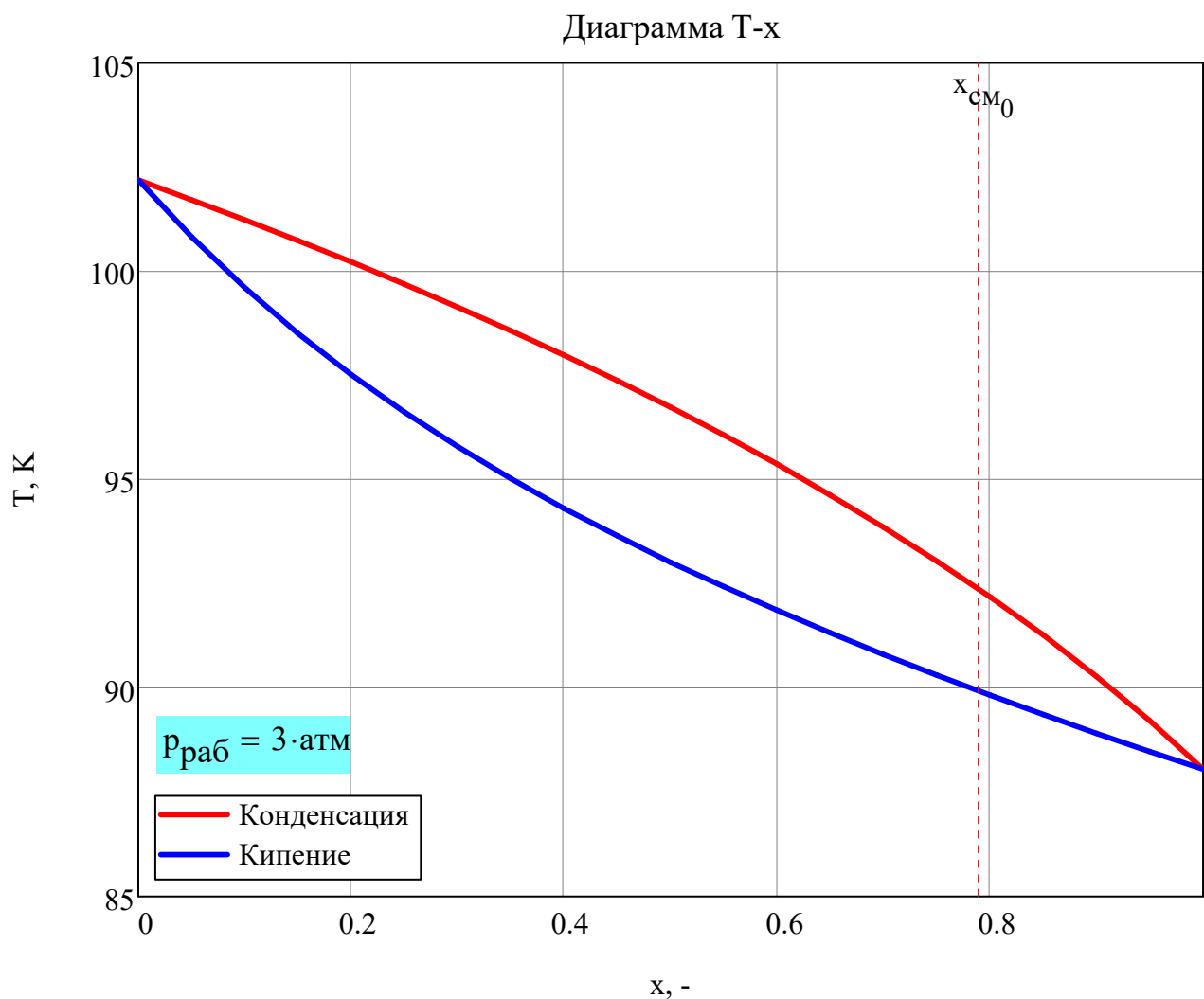
Ветви "рыбки"

$$T_{\text{кип}}(x) := T_{s\_px} \left[ p_{\text{раб}}, \begin{pmatrix} x \\ 1-x \end{pmatrix} \right]$$

$$T_{\text{конд}}(x) := T_{s\_py} \left[ p_{\text{раб}}, \begin{pmatrix} x \\ 1-x \end{pmatrix} \right]$$

$$x := 0, 0.05 \dots 1$$

▲ Построение Т-х диаграммы





## 4.2. Диаграмма у-х

[К содержанию...](#)

### Построение у-х диаграммы

**Шаг 1.** Вспомогательная функция для расчета концентрации насыщенного пара по температуре конденсации.

$$xx := 0.5 \quad \text{Given} \quad T_{s\_py} \left[ p_{раб}, \left( \frac{xx}{1 - xx} \right) \right] = TT \quad T_{x\_конд}(TT) := \text{Find}(xx)$$

**Шаг 2.** Функция для расчета концентрации низкикипящего компонента в паре (на линии конденсации) по концентрации низкикипящего компонента в жидкости (на линии кипения).

$$yy(xx) := \begin{cases} T \leftarrow T_{s\_px} \left[ p_{раб}, \left( \frac{xx}{1 - xx} \right) \right] \\ yu \leftarrow T_{x\_конд}(T) \\ yu \end{cases}$$

**Шаг 3.** Функция, описанная выше, потребляет много процессорного времени при расчетах по методу Мак-Кеба и Тиле, поэтому следует сделать приближенную интерполяцию этой функции. Для этого следует вывести значения функции  $yy(xx)$  при значениях  $xx$ , указанных ниже, и подставить значения  $yy(xx)$  и  $xx$  в столбцы интерполяции  $YYY$  и  $XXX$ . Это сделано автоматически в функции **setY**, если расчет происходит долго, скопируйте столбцы в excel, а затем вставьте его как константу.

$$xx := 0, 0.05 .. 1$$

xx =	yy(xx) =	setY :=	setX :=
0	■	YX ← 0	YX ← 0
0.05	■	for i ∈ 0 .. 20	for i ∈ 0 .. 20
0.1		YX <sub>i</sub> ← yy(i·0.05)	YX <sub>i</sub> ← i·0.05
0.15		YX	YX
0.2			
0.25			
0.3		XX := setX	
0.35		YY := setY	
0.4			
0.45			
0.5			
0.55			
0.6			
0.65			
0.7			
0.75			
0.8			

0.85
0.9
0.95
1

**Шаг 4.** Интерполируем функцию.

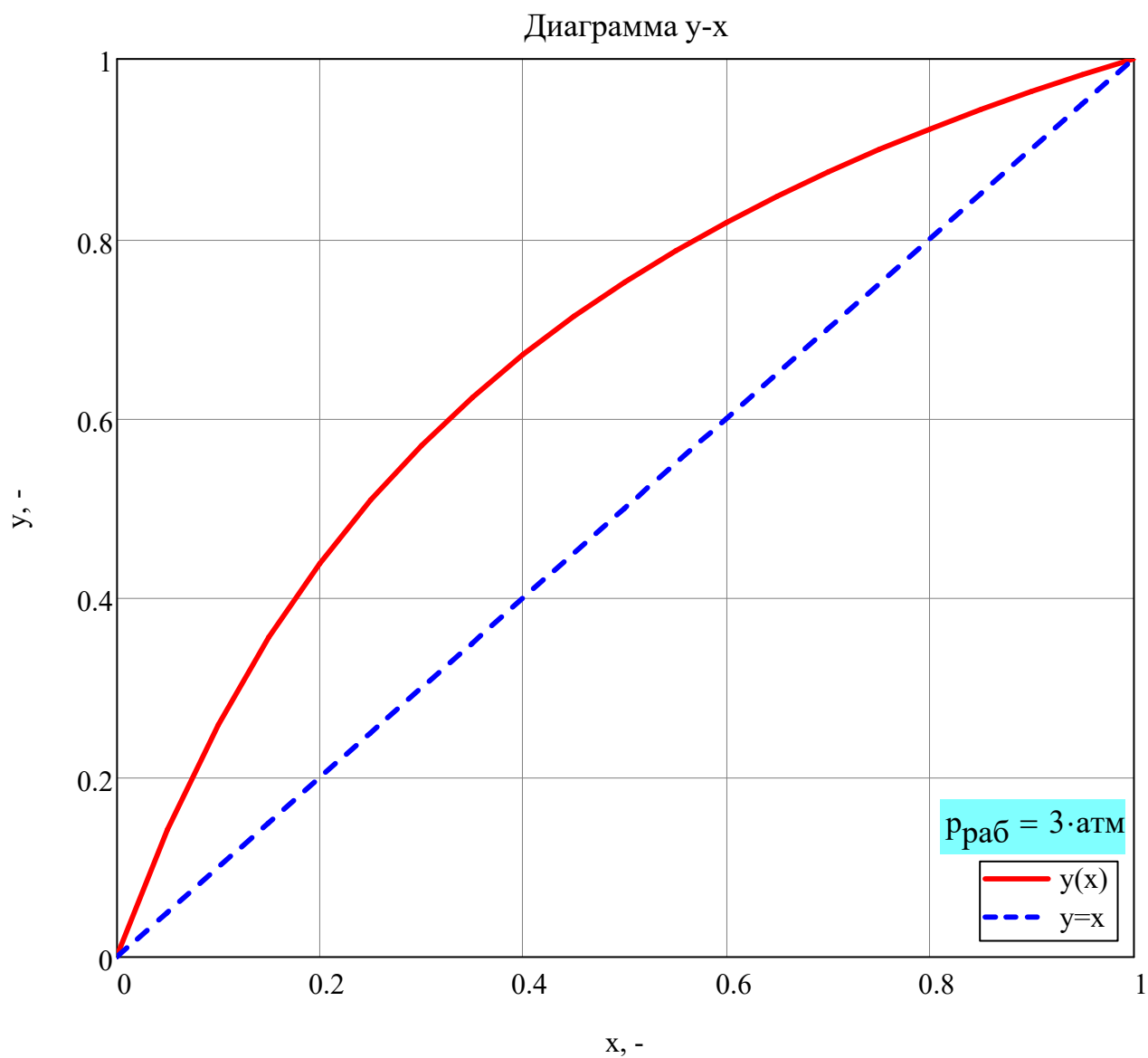
$$YX_{\text{ИНТ}} := \text{cspline}(XX, YY)$$

Готовая к использованию функция:

$$y(xx) := \text{interp}(YX_{\text{ИНТ}}, XX, YY, xx)$$

$$xx := 0, 0.05 .. 1$$

▲ Построение y-x диаграммы



☒ Построение h-x диаграммы

**Шаг 1.** Определяем функции для построения линий кипения и конденсации в безразмерном виде.

1. Линия кипения

$$h_{\text{кип}0}(x) := \frac{h_{\text{TrpZ}} \left[ T_{s\_px} \left[ p_{\text{раб}}, \left( \frac{x}{1-x} \right) \right], p_{\text{раб}}, \left( \frac{x}{1-x} \right) \right] \cdot \mu_x \left( \left( \frac{x}{1-x} \right) \right)}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}}$$

2. Линия конденсации

$$h_{\text{конд}0}(x) := \frac{h_{\text{TrpZ}} \left[ T_{s\_py} \left[ p_{\text{раб}}, \left( \frac{x}{1-x} \right) \right], p_{\text{раб}}, \left( \frac{x}{1-x} \right) \right] \cdot \mu_x \left( \left( \frac{x}{1-x} \right) \right)}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}}$$

**Шаг 2.** Определяем функцию изотермы в диаграмме h-x.

$$h_{\text{Tconst}}(T, x) := \frac{h_{\text{TrpZ}} \left[ T, p_{\text{раб}}, \left( \frac{x}{1-x} \right) \right] \cdot \mu_x \left( \left( \frac{x}{1-x} \right) \right)}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль}}}$$

**Шаг 3.** Для ускорения дальнейшей работы с диаграммой выполним интерполяцию. Поскольку в областях значений x близких к 0 и 1 требуется большее количество точек, чем в центральной части, определим специальный итератор.

```

X := | A0 ← 0
      | ind ← 1
      | for i ∈ 0 .. 99
      |   | if i ≤ 10 ∨ 90 ≤ i ≤ 100
      |   |   | for j ∈ 1 .. 99
      |   |   |   | A ← stack(A, 0.01 · i + 0.0001 · j)
      |   |   |   | ind ← ind + 1
      |   |   | otherwise
      |   |   |   | A ← stack(A, 0.01 · i)
      |   |   |   | ind ← ind + 1
      | A

```

Значения функции, изображающей линию конденсации:

```

Yконд := | A0 ← 0
           | ind ← 1
           | for i ∈ 0 .. 99
           |   | if i ≤ 10 ∨ 90 ≤ i ≤ 100
           |   |   | for j ∈ 1 .. 99
           |   |   |   | A ← stack(A, hконд0(0.01 · i + 0.0001 · j))
           |   |   |   | ind ← ind + 1
           |   |   | otherwise
           |   |   |   | A ← stack(A, hконд0(0.01 · i))
           |   |   |   | ind ← ind + 1
           | A

```

Значения функции, изображающей линию кипения:

```

Yкип := | A0 ← 0
          | ind ← 1
          | for i ∈ 0 .. 99
          |   | if i ≤ 10 ∨ 90 ≤ i ≤ 100
          |   |   | for j ∈ 1 .. 99
          |   |   |   A ← stack(A, hкип0(0.01·i + 0.0001·j))
          |   |   |   ind ← ind + 1
          |   | otherwise
          |   |   A ← stack(A, hкип0(0.01·i))
          |   |   ind ← ind + 1
          | A

```

#### Шаг 4. Интерполяция функций.

Для кривой конденсации:

$$h_{\text{конд}} := \text{cspline}(X, Y_{\text{конд}})$$

$$h_{\text{конд}}(x) := \text{interp}(h_{\text{конд}}, X, Y_{\text{конд}}, x)$$

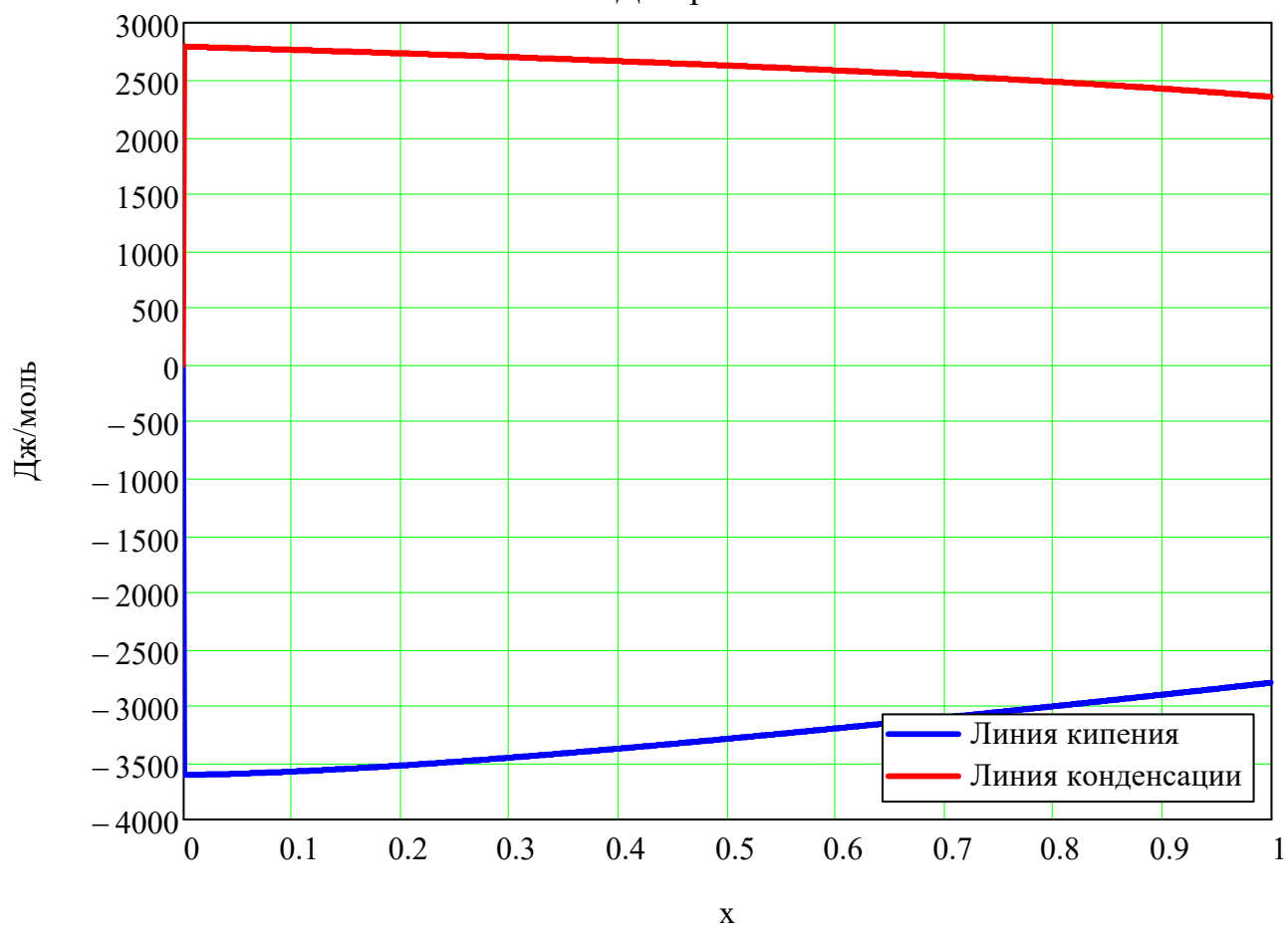
Для кривой кипения:

$$h_{\text{кип}} := \text{cspline}(X, Y_{\text{кип}})$$

$$h_{\text{кип}}(x) := \text{interp}(h_{\text{кип}}, X, Y_{\text{кип}}, x)$$

$$x := 0, 0.001 \dots 1$$

Диаграмма h-x



## 5. ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ТАКРЕЛОК

[К содержанию...](#)

### 5.1. Метод Понсона-Бошняковича

#### Примечание

1. Начальный этап расчета для всех типов колонн ведется одинаково, когда будут различия, последует соответствующая подпись;
2. По ходу расчета вставлены скриншоты графиков, исходные диаграммы помещены справа. Это сделано для экономии времени при разработке листинга;
3. По ходу расчета могут потребоваться дополнительные функции, которые будут помещены в блоки, обрамленные как \* Вспомогательные функции \*;
4. Для удобства расчет энтальпии приведен к безразмерному виду (Дж/моль).

Температура смеси на входе в колонну:

$$T_{см} = 91.01 \text{ K}$$

#### \* Вспомогательные функции

1. Расчет энтальпии по температуре и концентрации НК компонента:

$$h_{ПБ\_ТХ}(T, x) := h_{Трз} \left[ T, p_{раб}, \begin{pmatrix} x \\ 1 - x \end{pmatrix} \right] \cdot \mu_x \left( \begin{pmatrix} x \\ 1 - x \end{pmatrix} \right) \cdot \left( \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \right)^{-1}$$

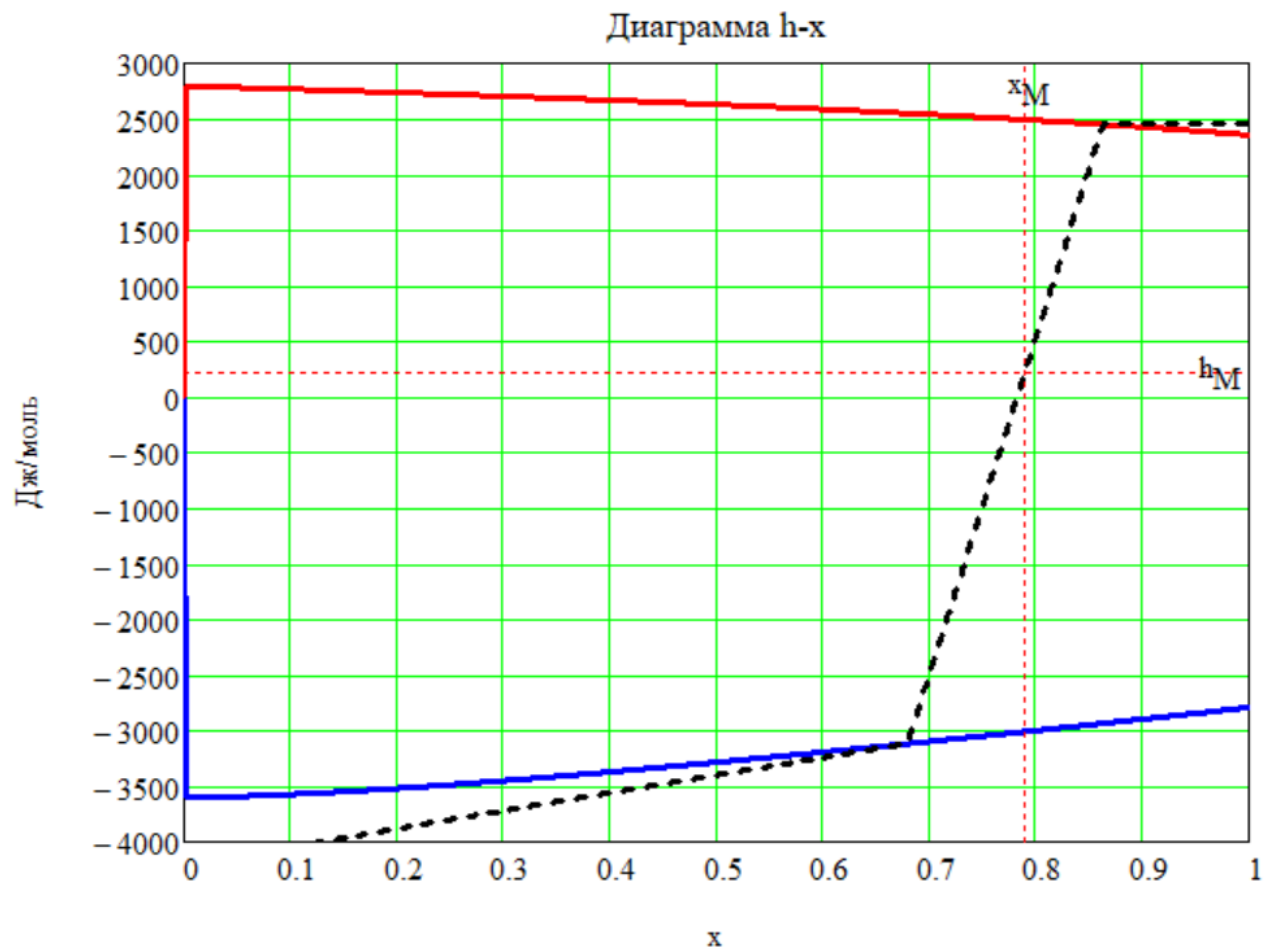
#### Вспомогательные функции \*

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

$$h_M := h_{ПБ\_ТХ}(T_{см}, x_{см0}) = 222.5$$

$$x_M := x_{см0} = 0.79$$

Построим изотерму ввода смеси в колонну и отметим точку М:



### \* Вспомогательные функции

2. Функция возвращает коэффициенты прямой, проходящей через 2 точки:

$$\text{line}(X1, Y1, X2, Y2) := \begin{cases} A_1 \leftarrow Y2 - Y1 \\ B_1 \leftarrow X1 - X2 \\ C_1 \leftarrow X2 \cdot Y1 - X1 \cdot Y2 \\ k_1 \leftarrow \frac{-A_1}{B_1} \\ b_1 \leftarrow \frac{-C_1}{B_1} \\ \begin{pmatrix} k_1 \\ b_1 \end{pmatrix} \end{cases}$$

3. Функции возвращают значение концентраций, через которые проходит изотерма  $T$  на линии конденсации и на линии кипения (значения  $x$ , при которых изотерма пересекает линию конденсации и кипения):

Given  $xx := 0.334$



$$h_{\text{Tpz}}\left[TT, p_{\text{paб}}, \begin{pmatrix} xx \\ 1 - xx \end{pmatrix}\right] = h_{\text{Tpz}}\left[T_{\text{s\_px}}\left[p_{\text{paб}}, \begin{pmatrix} xx \\ 1 - xx \end{pmatrix}\right], p_{\text{paб}}, \begin{pmatrix} xx \\ 1 - xx \end{pmatrix}\right]$$

$$x_{\text{Teq}}(TT) := \text{Find}(xx)$$

Given **xx1 := 0.8**

$$h_{\text{Tpz}}\left[TT, p_{\text{paб}}, \begin{pmatrix} xx1 \\ 1 - xx1 \end{pmatrix}\right] = h_{\text{Tpz}}\left[T_{\text{s\_py}}\left[p_{\text{paб}}, \begin{pmatrix} xx1 \\ 1 - xx1 \end{pmatrix}\right], p_{\text{paб}}, \begin{pmatrix} xx1 \\ 1 - xx1 \end{pmatrix}\right]$$

$$y_{\text{Teq}}(TT) := \text{Find}(xx1)$$

### Примечание

1. Если какой-то из блоков не рассчитывает значение и горит красным или возвращает абсурдные значения, измените приближения (отмечены желтым).

### Вспомогательные функции \*

Координаты точек пересечения изотермы температуры ввода смеси и линии конденсации и линии кипения, концентрации:

$$X_{\text{M\_T'}} := x_{\text{Teq}}(T_{\text{см}}) = 0.68$$

$$X_{\text{M\_T''}} := y_{\text{Teq}}(T_{\text{см}}) = 0.864$$

$$X_{\text{M}} := x_{\text{см}0} = 0.79$$

Энтальпии:

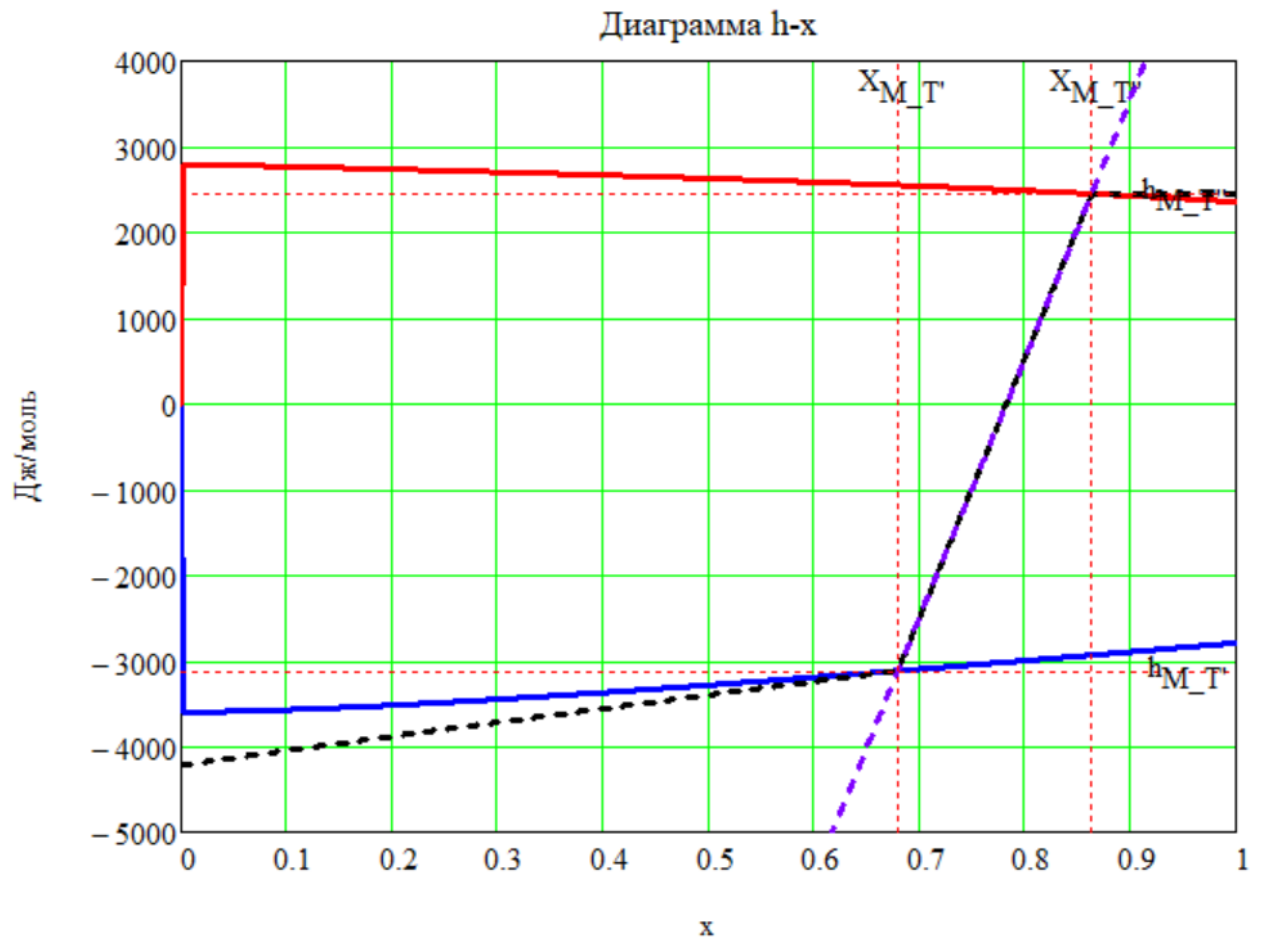
$$h_{\text{M\_T'}} := h_{\text{кип}0}(X_{\text{M\_T'}}) = -3118.36$$

$$h_{\text{M\_T''}} := h_{\text{конд}0}(X_{\text{M\_T''}}) = 2449.68$$

Уравнение минимальной главной прямой (проходит через изотерму  $T_{\text{см}}$ ):

$$KK := \text{line}(X_{\text{M\_T'}}, h_{\text{M\_T'}}, X_{\text{M\_T''}}, h_{\text{M\_T''}})$$

$$\text{Line}_{\text{min}}(z) := KK_0 \cdot z + KK_1$$



[К содержанию...](#)

### 5.1.1. Продукт - высококипящий компонент

В это случае минимальный полюс располагается в левой нижней части диаграммы. Чтобы найти значение энтальпии минимального полюса, следует подставить в уравнение минимальной главной прямой концентрацию низкокипящего компонента в высококипящем продукте.

Концентрация НК компонента в ВК продукте:

$$X_R := 1 - C_{BK} = 0.05$$

Энтальпия минимального полюса:

$$P_{\min\_BK} := \text{Line}_{\min}(X_R) = -22193.5$$

Минимальное флегмовое отношение, соответствующее минимальному флегмовому числу:

$$f_{\min} := \frac{P_{\min\_BK} - h_{M\_T''}}{P_{\min\_BK} - h_{M\_T'}} = 1.292$$

Минимальное флегмовое число:

$$v'_{\min} := \frac{f'_{\min}}{f'_{\min} - 1} = 4.426$$

Запас по флегмовому числу:

$$v'_{\text{раб}} := 1.25 \cdot v'_{\min} = 5.532$$

Рабочее флегмовое отношение:

$$f'_{\text{раб}} := \frac{v'_{\text{раб}}}{v'_{\text{раб}} - 1} = 1.221$$

Координаты рабочего полюса:

$$P_{\text{раб}} := -10000 \quad \text{Given} \quad \frac{P_{\text{раб}} - h_{M\_T''}}{P_{\text{раб}} - h_{M\_T'}} = f'_{\text{раб}}$$

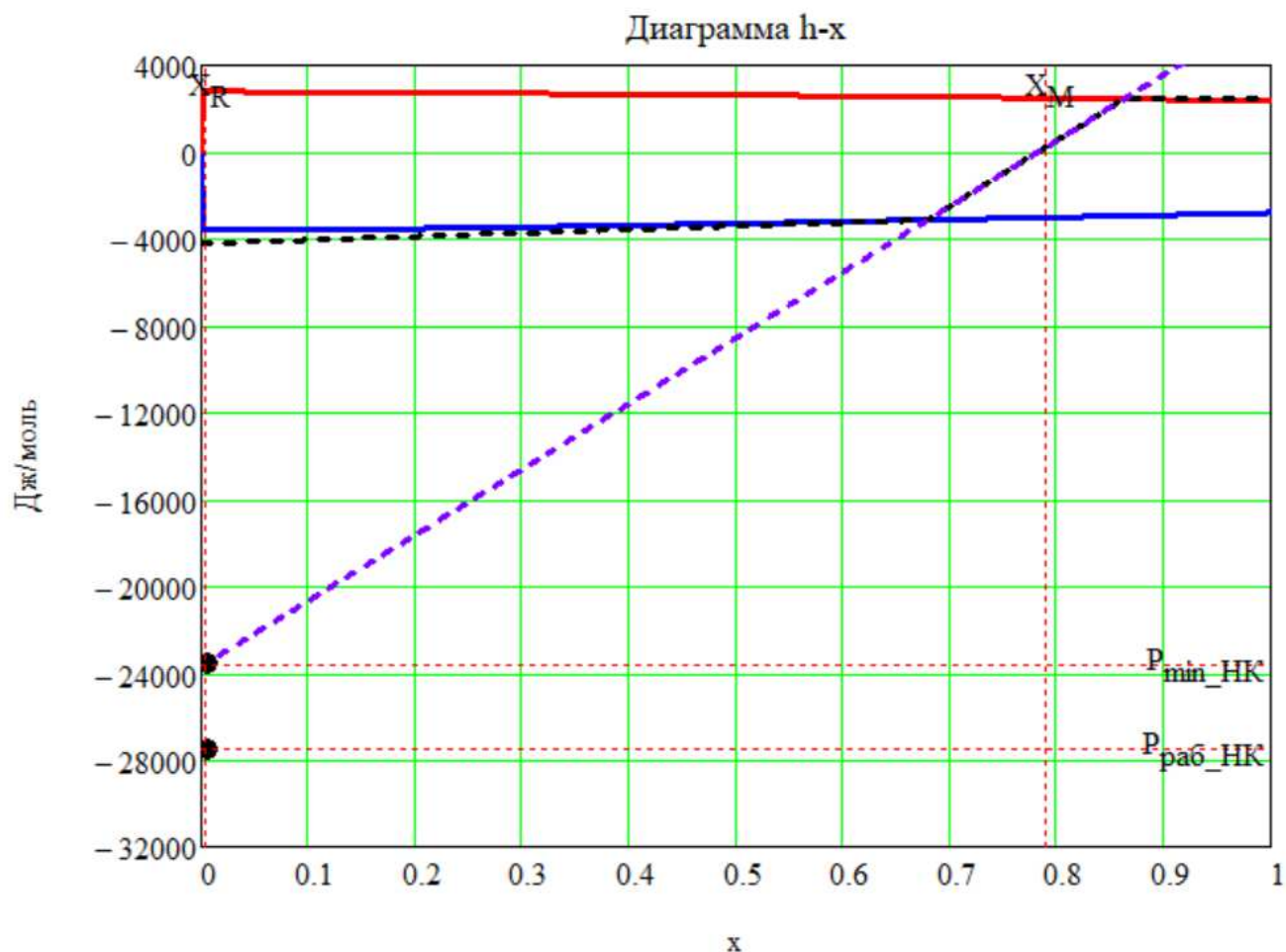
$$P_{\text{раб\_БК}} := \text{Find}(P_{\text{раб}}) = -28354.3$$

### Примечание

1. Если блок не рассчитывает значение и горит красным или возвращает абсурдные значения, измените приближения (отмечены желтым).

Точки для диаграммы:

$$X_{\text{point}} := \begin{pmatrix} X_R \\ X_R \end{pmatrix} \quad h_{\text{point}} := \begin{pmatrix} P_{\text{раб\_БК}} \\ P_{\min\_БК} \end{pmatrix}$$



### Примечание

1. Для каждой секции выполняется расчет числа тарелок и координат для построения диаграммы. Если расчет проводится для односекционной колонны, то используется только первая часть расчета для каждой колонны;
2. Если в скрытых областях не происходит расчет или происходит с ошибкой, измените приближения в блоке \* Вспомогательные функции \*.

☑ Часть 1. Построение тарелок в исчерпывающей секции

### \* Вспомогательные функции

$$h_{\text{конд}}(x) \quad y(xx) \quad h_{\text{кип}}(x)$$

4. Точка пересечения конноды и линии конденсации

$$xx := 0.5 \quad \text{Given} \quad h_{\text{конд}}(xx) = kb_0 \cdot xx + kb_1 \quad X_{\text{конд\_коннода}}(kb) := \text{Find}(xx)$$

5. Равновесная пару концентрация НК в жидкости

$$xx := 0.5 \quad \text{Given} \quad y(xx) = xxx \quad X_{\text{кип\_изотерма}}(xxx) := \text{Find}(xx)$$

### Вспомогательные функции \*

Calc_исч_исч :=	<p>"Счетчик коннод"</p> <p><math>g \leftarrow -1</math></p> <p>"Счетчик тарелок"</p> <p><math>N_T \leftarrow 1</math></p> <p>"Счетчик точек"</p> <p><math>i \leftarrow 0</math></p> <p>"Координаты полюса"</p> <p><math>P_X \leftarrow X_R</math></p> <p><math>P_Y \leftarrow P_{\text{раб\_ВК}}</math></p> <p>"Координаты насыщенной жидкости при температуре ввода смеси"</p> <p><math>X_{\text{ц}_i} \leftarrow X_{\text{М\_Т'}}</math></p> <p><math>h_{\text{ц}_i} \leftarrow h_{\text{М\_Т'}}</math></p> <p>"Уравнение линии, проходящей через эту точку и полюс"</p> <p><math>kb \leftarrow \text{line}(X_{\text{ц}_i}, h_{\text{ц}_i}, P_X, P_Y)</math></p> <p>"Координаты точки пересечения конноды и линии конденсации"</p> <p><math>i \leftarrow i + 1</math></p> <p><math>X_{\text{ц}_i} \leftarrow X_{\text{конд\_коннода}}(kb)</math></p> <p><math>h_{\text{ц}_i} \leftarrow kb_0 \cdot X_{\text{ц}_i} + kb_1</math></p> <p>"Равновесная пару концентрация НК в жидкости"</p> <p><math>i \leftarrow i + 1</math></p> <p><math>X_{\text{ц}_i} \leftarrow X_{\text{кип\_изотерма}}(X_{\text{ц}_{i-1}})</math></p> <p><math>h_{\text{ц}_i} \leftarrow h_{\text{кип}}(X_{\text{ц}_i})</math></p> <p>"Добавление конноды в массив"</p> <p><math>g \leftarrow g + 1</math></p> <p><math>X1_{\text{ц}_g} \leftarrow P_X</math></p> <p><math>h1_{\text{ц}_g} \leftarrow P_Y</math></p> <p><math>g \leftarrow g + 1</math></p> <p><math>X1_{\text{ц}_g} \leftarrow X_{\text{ц}_{i-2}}</math></p> <p><math>h1_{\text{ц}_g} \leftarrow h_{\text{ц}_{i-2}}</math></p>
-----------------	--

"Повторяем все то, что выше, пока не достигнем требуемой чистоты

$$X_{RR} \leftarrow X_{\Pi_i}$$

while  $X_{RR} > X_R$

"Уравнение линии, проходящей через последнюю точку и полюс

$$kb \leftarrow \text{line}(X_{\Pi_i}, h_{\Pi_i}, P_X, P_Y)$$

"Координаты точки пересечения конноды и линии конденсации"

$$i \leftarrow i + 1$$

$$X_{\Pi_i} \leftarrow X_{\text{конд\_коннода}}(kb)$$

$$h_{\Pi_i} \leftarrow kb_0 \cdot X_{\Pi_i} + kb_1$$

"Равновесная пару концентрация НК в жидкости"

$$i \leftarrow i + 1$$

$$X_{\Pi_i} \leftarrow X_{\text{кип\_изотерма}}(X_{\Pi_{i-1}})$$

$$h_{\Pi_i} \leftarrow h_{\text{кип}}(X_{\Pi_i})$$

"Добавление конноды в массив"

$$g \leftarrow g + 1$$

$$X1_{\Pi_g} \leftarrow P_X$$

$$h1_{\Pi_g} \leftarrow P_Y$$

$$g \leftarrow g + 1$$

$$X1_{\Pi_g} \leftarrow X_{\Pi_{i-2}}$$

$$h1_{\Pi_g} \leftarrow h_{\Pi_{i-2}}$$

"Добавление тарелки"

$$N_T \leftarrow N_T + 1$$

$$X_{RR} \leftarrow X_{\Pi_i}$$

$$\begin{pmatrix} X_{\Pi} \\ h_{\Pi} \\ N_T \\ X1_{\Pi} \\ h1_{\Pi} \end{pmatrix}$$

## Результат расчета для исчерпывающей секции

Координаты точек

$$X_{\text{исч\_исч}} := \text{Calc\_исч\_исч}_0 \quad Y_{\text{исч\_исч}} := \text{Calc\_исч\_исч}_1$$

Координаты коннод

$$X_{\text{конн\_исч\_исч}} := \text{Calc\_исч\_исч}_3 \quad Y_{\text{конн\_исч\_исч}} := \text{Calc\_исч\_исч}_4$$

Расчетное число теоретических тарелок исчерпывающей секции:

$$N_{\text{исч\_исч}} := \text{Calc\_исч\_исч}_2 = 6$$

Номер последней точки в массиве

$$n_i := \text{last}(X_{\text{исч\_исч}}) = 12$$

Концентрация продукционного потока по НК компоненту:

$$y_{R\_исч} := 1 - X_{\text{исч\_исч}_{n_i}} = 0.9775$$

Требуемая концентрация потока:

$$C_{\text{ВК}} = 0.95$$

## *Продолжение расчета для двухсекционной колонны...*

Координата полюса концентрационной секции:

$$X_D := C_{\text{НК}} = 0.99$$

$$KK := \text{line}(X_R, P_{\text{раб\_ВК}}, X_M, h_M)$$

$$\text{Line}_{\text{base}}(z) := KK_0 \cdot z + KK_1$$

$$P_{\text{раб\_НК}} := \text{Line}_{\text{base}}(X_D) = 7945.91$$

## \* Вспомогательные функции

$$h_{\text{конд}}(x) \quad y(xx) \quad h_{\text{кип}}(x)$$

6. Точка пересечения конноды и линии кипения

$xx := 0.5$     Given     $h_{\text{кип}}(xx) = kb_0 \cdot xx + kb_1$      $X_{\text{кип\_коннода}}(kb) := \text{Find}(xx)$

```

Calc_исч_конц := "Счетчик коннод"
                  g ← -1
                  "Счетчик тарелок"
                  NT ← 1
                  "Счетчик точек"
                  i ← 0
                  "Координаты полюса"
                  PX ← XD
                  PY ← Pраб_НК
                  "Координаты насыщенного пара при температуре ввода смеси"
                  Xцi ← XM_Т
                  hцi ← hM_Т
                  "Уравнение линии, проходящей через эту точку и полюс"
                  kb ← line(Xцi, hцi, PX, PY)
                  "Координаты точки пересечения конноды и линии кипения"
                  i ← i + 1
                  Xцi ← Xкип_коннода(kb)
                  hцi ← kb0 · Xцi + kb1
                  "Равновесная пару концентрация НК в жидкости"
                  i ← i + 1
                  Xцi ← y(Xцi-1)
                  hцi ← hконд(Xцi)
                  "Добавление конноды в массив"
                  g ← g + 1
                  X1цg ← PX
                  h1цg ← PY
                  g ← g + 1
                  X1цσ ← Xцi-2

```



$$h1_{\Pi_g} \leftarrow h_{\Pi_{i-2}}$$

"Повторяем все то, что выше, пока не достигнем требуемой числ

$$X_{DD} \leftarrow X_{\Pi_i}$$

while  $X_{DD} < X_D$

"Уравнение линии, проходящей через последнюю точку и по

$$kb \leftarrow \text{line}(X_{\Pi_i}, h_{\Pi_i}, P_X, P_Y)$$

"Координаты точки пересечения конноды и линии конденсац

$$i \leftarrow i + 1$$

$$X_{\Pi_i} \leftarrow X_{\text{кип\_коннода}}(kb)$$

$$h_{\Pi_i} \leftarrow kb_0 \cdot X_{\Pi_i} + kb_1$$

"Равновесная жидкости концентрация НК в паре"

$$i \leftarrow i + 1$$

$$X_{\Pi_i} \leftarrow y(X_{\Pi_{i-1}})$$

$$h_{\Pi_i} \leftarrow h_{\text{конд}}(X_{\Pi_i})$$

"Добавление конноды в массив"

$$g \leftarrow g + 1$$

$$X1_{\Pi_g} \leftarrow P_X$$

$$h1_{\Pi_g} \leftarrow P_Y$$

$$g \leftarrow g + 1$$

$$X1_{\Pi_g} \leftarrow X_{\Pi_{i-2}}$$

$$h1_{\Pi_g} \leftarrow h_{\Pi_{i-2}}$$

"Добавление тарелки"

$$N_T \leftarrow N_T + 1$$

$$X_{DD} \leftarrow X_{\Pi_i}$$

$$\begin{pmatrix} X_{\Pi} \\ h_{\Pi} \\ N_T \\ X1_{\Pi} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h1_{\text{ц}} \end{pmatrix}$$

## Результат расчета для концентрационной секции

Координаты точек

$$X_{\text{исч\_конц}} := \text{Calc\_исч\_конц}_0 \quad Y_{\text{исч\_конц}} := \text{Calc\_исч\_конц}_1$$

Координаты коннод

$$X_{\text{конн\_исч\_конц}} := \text{Calc\_исч\_конц}_3 \quad Y_{\text{конн\_исч\_конц}} := \text{Calc\_исч\_конц}_4$$

Расчетное число теоретических тарелок концентрационной секции:

$$N_{\text{исч\_конц}} := \text{Calc\_исч\_конц}_2 = 7$$

Номер последней точки в массиве

$$ni := \text{last}(X_{\text{исч\_конц}})$$

Концентрация продукционного потока по НК компоненту:

$$X_{\text{исч\_ПБ}} := X_{\text{исч\_конц}_{ni}} = 0.99627$$

Требуемая концентрация потока:

$$C_{\text{НК}} = 0.99$$

## Примечание

1. Ниже расположены области с графиками. На графиках отображены результаты расчета для односекционной или двухсекционной колонны.
2. Для красивого представления используются вспомогательные функции и массивы, которые представлены ниже.

Точка входа смеси M:

$$tM := \begin{pmatrix} x_M \\ h_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 222.5 \end{pmatrix}$$

Минимальный полюс:

$$P_{\text{мин\_исч\_исч}} := \begin{pmatrix} X_R \\ P_{\text{мин\_BK}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ -22193.50083 \end{pmatrix}$$

Рабочий полюс:

$$\Pi_{\text{раб\_исч\_исч}} := \begin{pmatrix} X_R \\ P_{\text{раб\_ВК}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ -28354.29508 \end{pmatrix}$$

Полюс концентрационной секции (для двухсекционной колонны):

$$\Pi_{\text{раб\_исч\_конц}} := \begin{pmatrix} X_D \\ P_{\text{раб\_НК}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 7945.90986 \end{pmatrix}$$

Главная линия

$$X_{\text{гл\_лин}} := \begin{pmatrix} X_R \\ X_D \end{pmatrix} \quad Y_{\text{гл\_лин}} := \begin{pmatrix} P_{\text{раб\_ВК}} \\ P_{\text{раб\_НК}} \end{pmatrix}$$

Все точки в сборке:

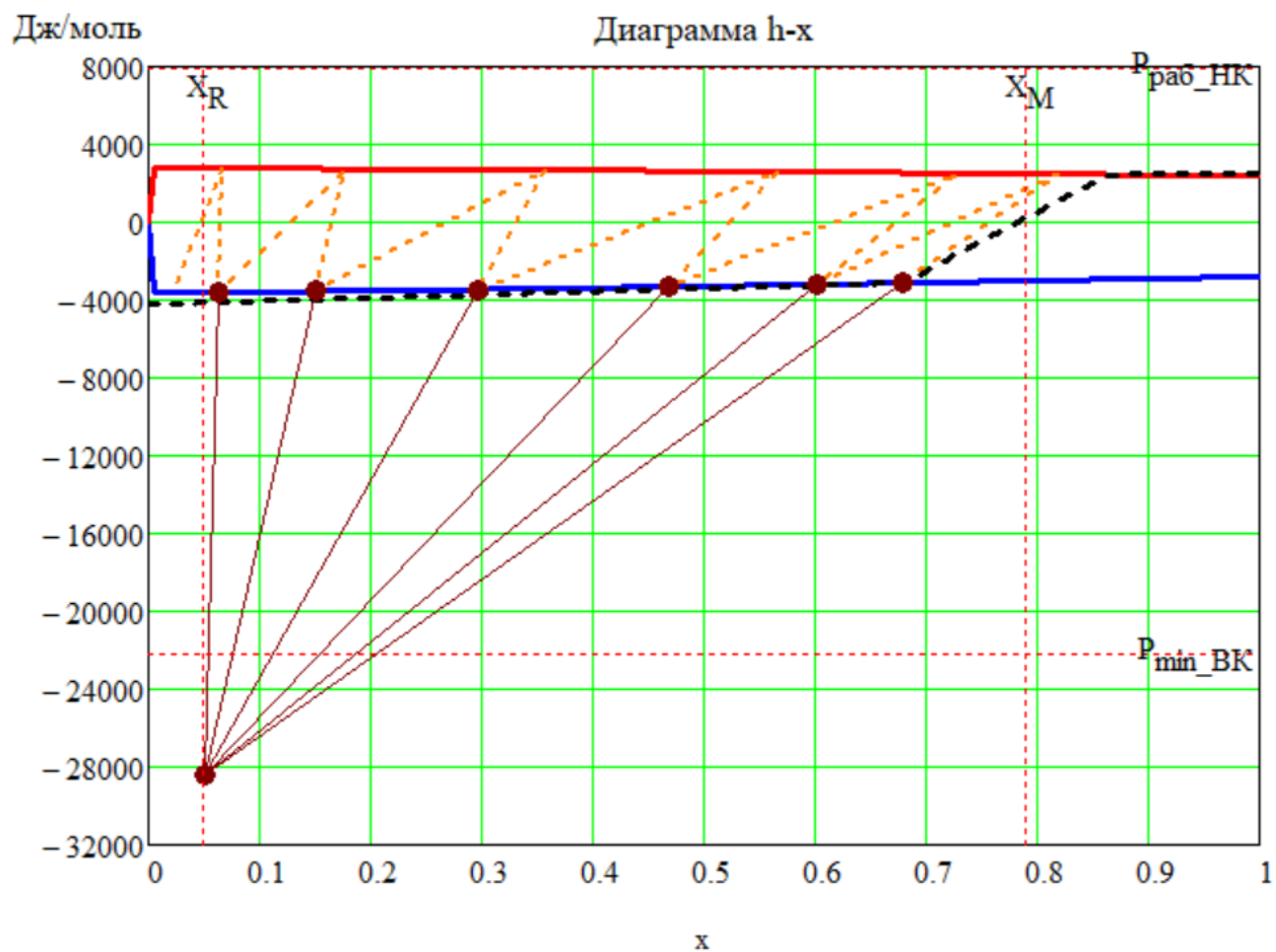
$$X_{\text{point\_all}} := \begin{pmatrix} tM_0 \\ \Pi_{\text{мин\_исч\_исч}_0} \\ \Pi_{\text{раб\_исч\_исч}_0} \\ \Pi_{\text{раб\_исч\_конц}_0} \end{pmatrix} \quad h_{\text{point\_all}} := \begin{pmatrix} tM_1 \\ \Pi_{\text{мин\_исч\_исч}_1} \\ \Pi_{\text{раб\_исч\_исч}_1} \\ \Pi_{\text{раб\_исч\_конц}_1} \end{pmatrix}$$

$$X_{\text{point}} := \begin{pmatrix} tM_0 \\ \Pi_{\text{мин\_исч\_исч}_0} \\ \Pi_{\text{раб\_исч\_исч}_0} \end{pmatrix} \quad h_{\text{point}} := \begin{pmatrix} tM_1 \\ \Pi_{\text{мин\_исч\_исч}_1} \\ \Pi_{\text{раб\_исч\_исч}_1} \end{pmatrix}$$

$$x := 0, 0.005 \dots 1$$

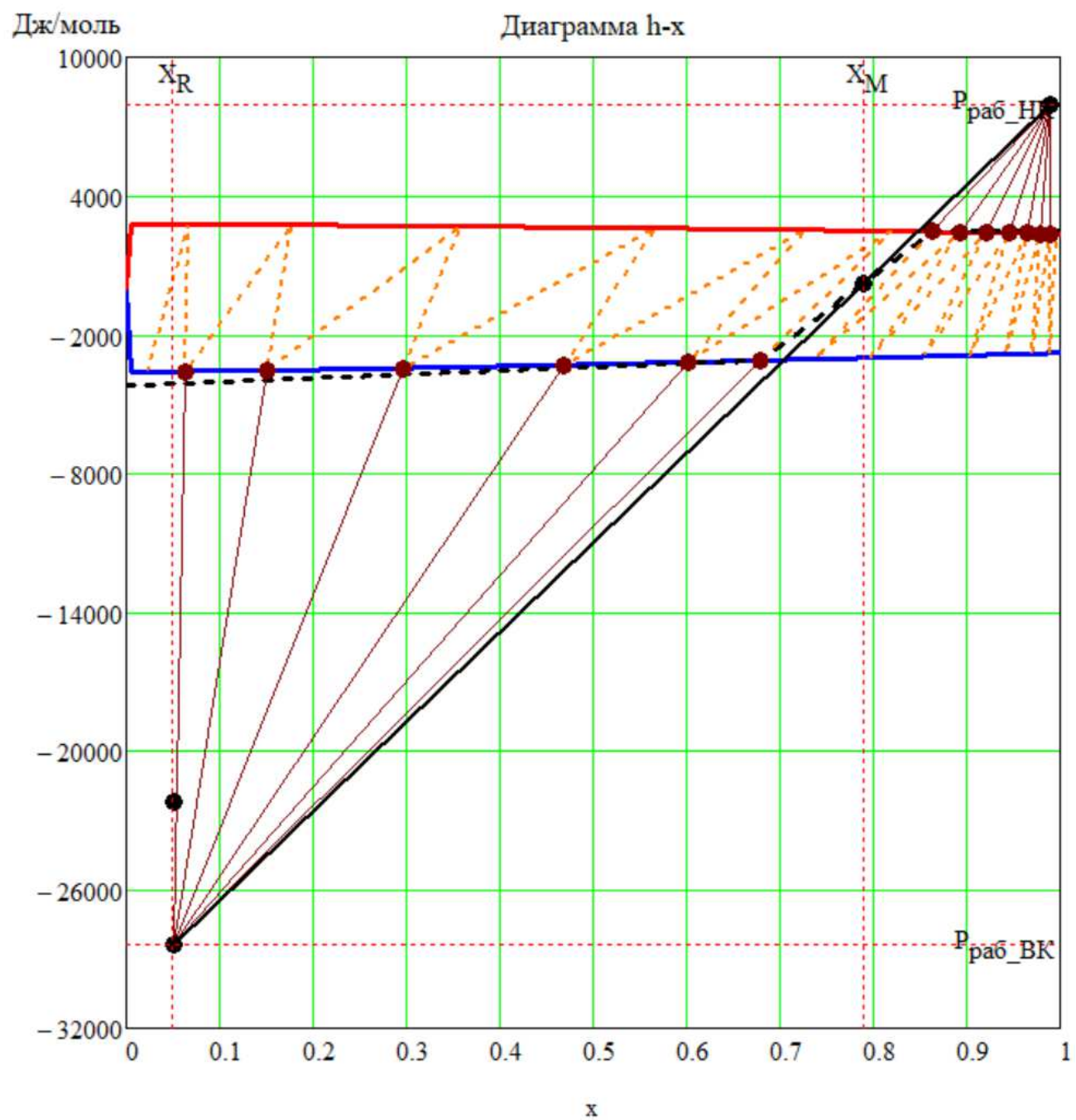
☐ Вспомогательные переменные для графиков

☐ Односекционная колонна



☐ Односекционная колонна

☐ Двухсекционная колонна



[К содержанию...](#)

### 5.1.2. Продукт - низкокипящий компонент

В это случае минимальный полюс располагается в правой верхней части диаграммы. Чтобы найти значение энтальпии минимального полюса, следует подставить в уравнение минимальной главной прямой концентрацию низкокипящего компонента в низкокипящем продукте.

Концентрация НК компонента в НК продукте:

$$X_D := C_{\text{НК}} = 0.99$$

Энтальпия минимального полюса:

$$P_{\text{min\_НК}} := \text{Line}_{\text{min}}(X_D) = 6280.83$$

Минимальное флегмовое отношение, соответствующее минимальному флегмовому числу:

$$f_{\text{min}} := \frac{P_{\text{min\_НК}} - h_{M\_T''}}{P_{\text{min\_НК}} - h_{M\_T'}} = 0.408$$

Минимальное флегмовое число:

$$v_{\text{min}} := \frac{f_{\text{min}}}{1 - f_{\text{min}}} = 0.688$$

Запас по флегмовому числу:

---

$$v_{\text{раб}} := 1.25 \cdot v_{\text{min}} = 0.86$$

Рабочее флегмовое отношение:

$$f_{\text{раб}} := \frac{v_{\text{раб}}}{1 + v_{\text{раб}}} = 0.462$$

Координаты рабочего полюса:

$$P_{\text{раб}} := 10000 \quad \text{Given} \quad \frac{P_{\text{раб}} - h_{M\_T''}}{P_{\text{раб}} - h_{M\_T'}} = f_{\text{раб}}$$

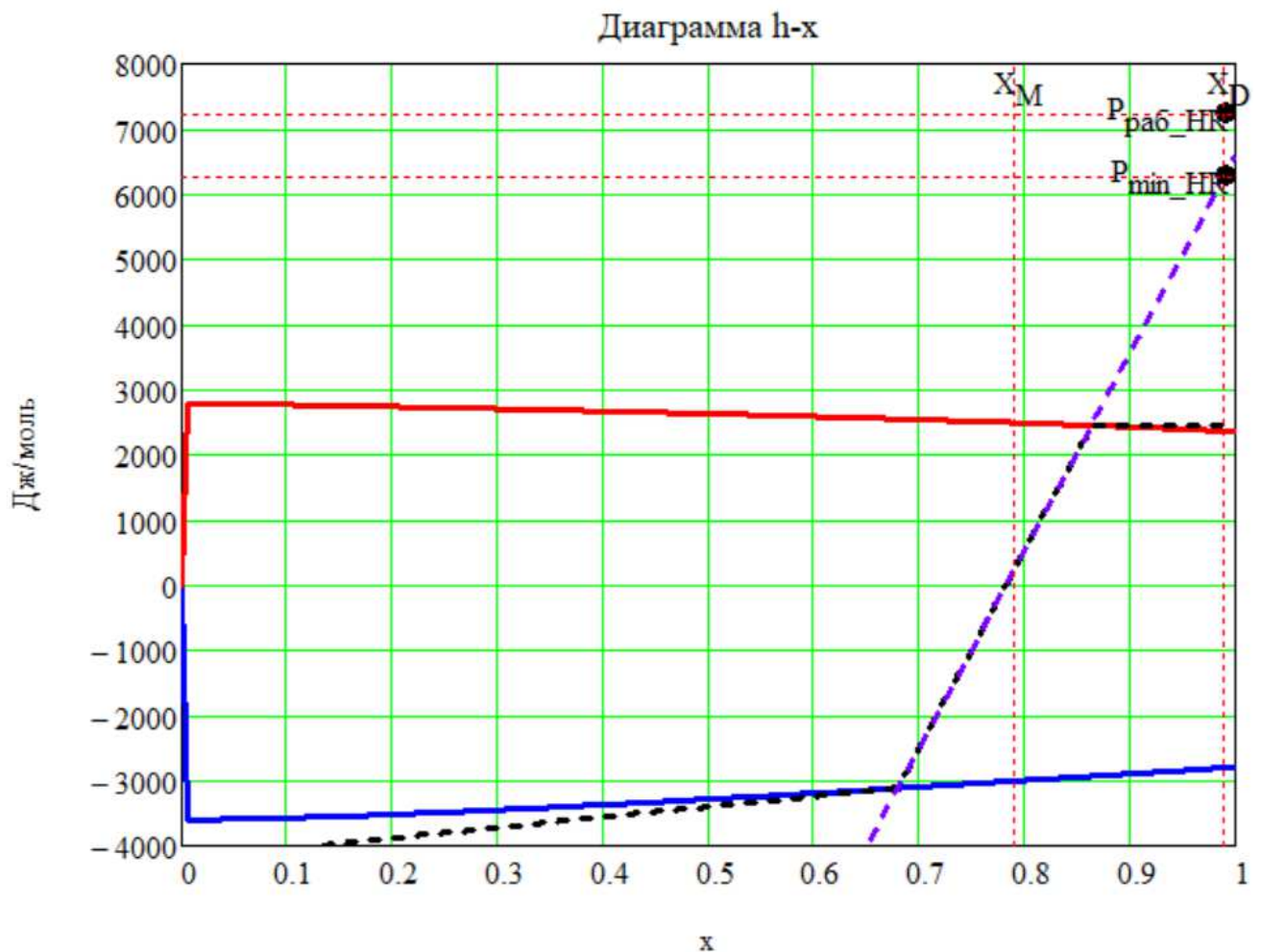
$$P_{\text{раб\_HK}} := \text{Find}(P_{\text{раб}}) = 7238.62$$

### Примечание

1. Если блок не рассчитывает значение и горит красным или возвращает абсурдные значения, измените приближения (отмечены желтым).

Точки для диаграммы:

$$X_{\text{point}} := \begin{pmatrix} X_D \\ X_D \end{pmatrix} \quad h_{\text{point}} := \begin{pmatrix} P_{\text{раб\_HK}} \\ P_{\text{min\_HK}} \end{pmatrix}$$



## Примечание

1. Для каждой секции выполняется расчет числа тарелок и координат для построения диаграммы. Если расчет проводится для односекционной колонны, то используется только первая часть расчета для каждой колонны;
2. Если в скрытых областях не происходит расчет или происходит с ошибкой, измените приближения в блоке \* Вспомогательные функции \*.

▼ Часть 1. Построение тарелок в концентрационной секции

### \* Вспомогательные функции

$$h_{\text{конд}}(x) \quad y(xx) \quad h_{\text{кип}}(x)$$

6. Точка пересечения конноды и линии кипения

$$xx := 0.5 \quad \text{Given} \quad h_{\text{кип}}(xx) = kb_0 \cdot xx + kb_1 \quad X_{\text{кип\_коннода}}(kb) := \text{Find}(xx)$$

```
Calc_конц_конц := | "Счетчик коннод"
                  | g ← -1
                  | "Счетчик тарелок"
                  | N_T ← 1
                  | "Счетчик точек"
                  | i ← 0
                  | "Координаты полюса"
                  | P_X ← X_D
                  | P_Y ← P_раб_НК
                  | "Координаты насыщенного пара при температуре ввода смеси"
                  | X_ц_i ← X_M_T
                  | h_ц_i ← h_M_T
                  | "Уравнение линии, проходящей через эту точку и полюс"
                  | kb ← line(X_ц_i, h_ц_i, P_X, P_Y)
                  | "Координаты точки пересечения конноды и линии кипения"
                  | i ← i + 1
                  | X_ц_i ← X_кип_коннода(kb)
                  | h_ц_i ← kb_0 · X_ц_i + kb_1
                  | "Равновесная пару концентрация НК в жидкости"
                  | : : : : 1
```



$i \leftarrow i + 1$

$X_{\Pi_i} \leftarrow y(X_{\Pi_{i-1}})$

$h_{\Pi_i} \leftarrow h_{\text{конд}}(X_{\Pi_i})$

"Добавление конноды в массив"

$g \leftarrow g + 1$

$X1_{\Pi_g} \leftarrow P_X$

$h1_{\Pi_g} \leftarrow P_Y$

$g \leftarrow g + 1$

$X1_{\Pi_g} \leftarrow X_{\Pi_{i-2}}$

$h1_{\Pi_g} \leftarrow h_{\Pi_{i-2}}$

"Повторяем все то, что выше, пока не достигнем требуемой чи

$X_{DD} \leftarrow X_{\Pi_i}$

while  $X_{DD} < X_D$

"Уравнение линии, проходящей через последнюю точку и 1

$kb \leftarrow \text{line}(X_{\Pi_i}, h_{\Pi_i}, P_X, P_Y)$

"Координаты точки пересечения конноды и линии конденса

$i \leftarrow i + 1$

$X_{\Pi_i} \leftarrow X_{\text{кип\_коннода}}(kb)$

$h_{\Pi_i} \leftarrow kb_0 \cdot X_{\Pi_i} + kb_1$

"Равновесная жидкости концентрация НК в паре"

$i \leftarrow i + 1$

$X_{\Pi_i} \leftarrow y(X_{\Pi_{i-1}})$

$h_{\Pi_i} \leftarrow h_{\text{конд}}(X_{\Pi_i})$

"Добавление конноды в массив"

$g \leftarrow g + 1$

$X1_{\Pi_g} \leftarrow P_X$

$h1_{\Pi_g} \leftarrow P_Y$

$g \leftarrow g + 1$

$X1_{\Pi_g} \leftarrow X_{\Pi_i}$

$$\begin{array}{|l}
 \left( \begin{array}{l}
 X_{\Pi} \\
 h_{\Pi} \\
 N_T \\
 X1_{\Pi} \\
 h1_{\Pi}
 \end{array} \right) \\
 \left( \begin{array}{l}
 X_{\Pi_g} \leftarrow X_{\Pi_{i-2}} \\
 h1_{\Pi_g} \leftarrow h_{\Pi_{i-2}} \\
 \text{"Добавление тарелки"} \\
 N_T \leftarrow N_T + 1 \\
 X_{DD} \leftarrow X_{\Pi_i}
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

▲ Часть 1. Построение тарелок в концентрационной секции

### Результат расчета для концентрационной секции

Координаты точек

$$X_{\text{конц\_конц}} := \text{Calc\_конц\_конц}_0 \quad Y_{\text{конц\_конц}} := \text{Calc\_конц\_конц}_1$$

Координаты коннод

$$X_{\text{конн\_конц\_конц}} := \text{Calc\_конц\_конц}_3 \quad Y_{\text{конн\_конц\_конц}} := \text{Calc\_конц\_конц}_4$$

Расчетное число теоретических тарелок концентрационной секции:

$$N_{\text{конц\_конц}} := \text{Calc\_конц\_конц}_2 = 8$$

Номер последней точки в массиве

$$ni := \text{last}(X_{\text{конц\_конц}})$$

Концентрация продукционного потока по НК компоненту:

$$X_{\text{конц\_ПБ}} := X_{\text{конц\_конц}_{ni}} = 0.9944$$

Требуемая концентрация потока:

$$C_{\text{НК}} = 0.99$$

**Продолжение расчета для двухсекционной колонны...**

Координата полюса исчерпывающей секции:

$$X_R := 1 - C_{BK} = 0.05$$

$$KK := \text{line}(X_D, P_{\text{раб\_НК}}, X_M, h_M)$$

$$\text{Line}_{\text{base}}(z) := KK_0 \cdot z + KK_1$$

$$P_{\text{раб\_БК}} := \text{Line}_{\text{base}}(X_R) = -25737.32$$

---

▼ Часть 2. Построение тарелок в исчерпывающей секции

**\* Вспомогательные функции**

$$h_{\text{конд}}(x) \quad y(xx) \quad h_{\text{кип}}(x)$$

4. Точка пересечения конноды и линии конденсации

$$xx := 0.5 \quad \text{Given} \quad h_{\text{конд}}(xx) = kb_0 \cdot xx + kb_1 \quad X_{\text{конд\_коннода}}(kb) := \text{Find}(xx)$$

5. Равновесная пару концентрация НК в жидкости

$$xx := 0.5 \quad \text{Given} \quad y(xx) = xxx \quad X_{\text{кип\_изотерма}}(xxx) := \text{Find}(xx)$$

**Вспомогательные функции \***

Calc_конц_исч :=	"Счетчик коннод"
	$g \leftarrow -1$
	"Счетчик тарелок"
	$N_T \leftarrow 1$
	"Счетчик точек"
	$i \leftarrow 0$
	"Координаты полюса"
	$P_X \leftarrow X_R$
	$P_Y \leftarrow P_{\text{раб\_ВК}}$
	"Координаты насыщенной жидкости при температуре ввода смеси"
	$X_{\text{ц}_i} \leftarrow X_{\text{М\_Т'}}$
	$h_{\text{ц}_i} \leftarrow h_{\text{М\_Т'}}$
	"Уравнение линии, проходящей через эту точку и полюс"
	$kb \leftarrow \text{line}(X_{\text{ц}_i}, h_{\text{ц}_i}, P_X, P_Y)$
	"Координаты точки пересечения конноды и линии конденсации"
	$i \leftarrow i + 1$
	$X_{\text{ц}_i} \leftarrow X_{\text{конд\_коннода}}(kb)$
	$h_{\text{ц}_i} \leftarrow kb_0 \cdot X_{\text{ц}_i} + kb_1$
	"Равновесная пару концентрация НК в жидкости"
	$i \leftarrow i + 1$
	$X_{\text{ц}_i} \leftarrow X_{\text{кип\_изотерма}}(X_{\text{ц}_{i-1}})$
	$h_{\text{ц}_i} \leftarrow h_{\text{кип}}(X_{\text{ц}_i})$
	"Добавление конноды в массив"
	$g \leftarrow g + 1$
	$X1_{\text{ц}_g} \leftarrow P_X$
	$h1_{\text{ц}_g} \leftarrow P_Y$
	$g \leftarrow g + 1$
	$X1_{\text{ц}_g} \leftarrow X_{\text{ц}_{i-2}}$
	$h1_{\text{ц}_g} \leftarrow h_{\text{ц}_{i-2}}$

"Повторяем все то, что выше, пока не достигнем требуемой чистоты"

$$X_{RR} \leftarrow X_{\Pi_i}$$

while  $X_{RR} > X_R$

"Уравнение линии, проходящей через последнюю точку и полк"

$$kb \leftarrow \text{line}(X_{\Pi_i}, h_{\Pi_i}, P_X, P_Y)$$

"Координаты точки пересечения конноды и линии конденсации"

$$i \leftarrow i + 1$$

$$X_{\Pi_i} \leftarrow X_{\text{конд\_коннода}}(kb)$$

$$h_{\Pi_i} \leftarrow kb_0 \cdot X_{\Pi_i} + kb_1$$

"Равновесная пару концентрация НК в жидкости"

$$i \leftarrow i + 1$$

$$X_{\Pi_i} \leftarrow X_{\text{кип\_изотерма}}(X_{\Pi_{i-1}})$$

$$h_{\Pi_i} \leftarrow h_{\text{кип}}(X_{\Pi_i})$$

"Добавление конноды в массив"

$$g \leftarrow g + 1$$

$$X1_{\Pi_g} \leftarrow P_X$$

$$h1_{\Pi_g} \leftarrow P_Y$$

$$g \leftarrow g + 1$$

$$X1_{\Pi_g} \leftarrow X_{\Pi_{i-2}}$$

$$h1_{\Pi_g} \leftarrow h_{\Pi_{i-2}}$$

"Добавление тарелки"

$$N_T \leftarrow N_T + 1$$

$$X_{RR} \leftarrow X_{\Pi_i}$$

$$\begin{pmatrix} X_{\Pi} \\ h_{\Pi} \\ N_T \\ X1_{\Pi} \\ h1_{\Pi} \end{pmatrix}$$

## Результат расчета для исчерпывающей секции

Координаты точек

$$X_{\text{конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_0 \quad Y_{\text{конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_1$$

Координаты коннод

$$X_{\text{конн\_конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_3 \quad Y_{\text{конн\_конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_4$$

Расчетное число теоретических тарелок исчерпывающей секции:

$$N_{\text{конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_2 = 6$$

Номер последней точки в массиве

$$n_i := \text{last}(X_{\text{конц\_исч}}) = 12$$

Концентрация продукционного потока по НК компоненту:

$$y_{R\_конц} := 1 - X_{\text{конц\_исч}_{n_i}} = 0.9571$$

Требуемая концентрация потока:

$$C_{\text{вк}} = 0.95$$

## Примечание

1. Ниже расположены области с графиками. На графиках отображены результаты расчета для односекционной или двухсекционной колонны.
2. Для красивого представления используются вспомогательные функции и массивы, которые представлены ниже.

## Вспомогательные переменные для графиков

Точка входа смеси M:

$$t_M := \begin{pmatrix} x_M \\ h_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 222.5 \end{pmatrix}$$

Минимальный полюс:

$$P_{\text{мин\_конц\_конц}} := \begin{pmatrix} X_D \\ P_{\text{мин\_НК}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 6280.83032 \end{pmatrix}$$

Рабочий полюс:

$$\Pi_{\text{раб\_конц\_конц}} := \begin{pmatrix} X_D \\ P_{\text{раб\_НК}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 7238.61885 \end{pmatrix}$$

Полос исчерпывающей секции (для двухсекционной колонны):

$$\Pi_{\text{раб\_конц\_исч}} := \begin{pmatrix} X_R \\ P_{\text{раб\_ВК}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ -25737.31834 \end{pmatrix}$$

Главная линия

$$X_{\text{гл\_лин}} := \begin{pmatrix} X_R \\ X_D \end{pmatrix} \quad Y_{\text{гл\_лин}} := \begin{pmatrix} P_{\text{раб\_ВК}} \\ P_{\text{раб\_НК}} \end{pmatrix}$$

Все точки в сборке:

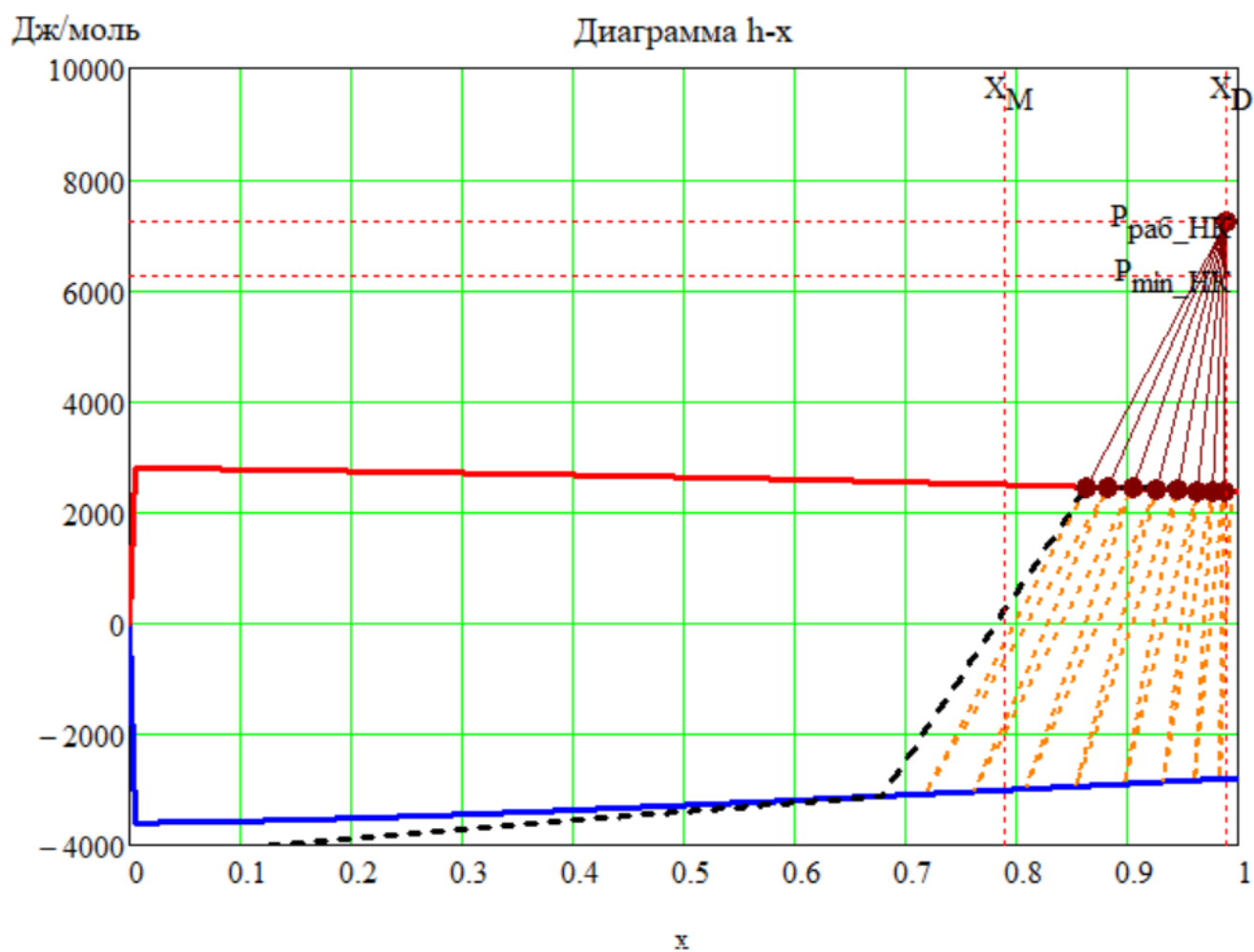
$$X_{\text{point\_all}} := \begin{pmatrix} tM_0 \\ \Pi_{\text{мин\_конц\_конц}_0} \\ \Pi_{\text{раб\_конц\_конц}_0} \\ \Pi_{\text{раб\_конц\_исч}_0} \end{pmatrix} \quad h_{\text{point\_all}} := \begin{pmatrix} tM_1 \\ \Pi_{\text{мин\_конц\_конц}_1} \\ \Pi_{\text{раб\_конц\_конц}_1} \\ \Pi_{\text{раб\_конц\_исч}_1} \end{pmatrix}$$

$$X_{\text{point}} := \begin{pmatrix} tM_0 \\ \Pi_{\text{мин\_конц\_конц}_0} \\ \Pi_{\text{раб\_конц\_конц}_0} \end{pmatrix} \quad h_{\text{point}} := \begin{pmatrix} tM_1 \\ \Pi_{\text{мин\_конц\_конц}_1} \\ \Pi_{\text{раб\_конц\_конц}_1} \end{pmatrix}$$

$$x := 0, 0.005 \dots 1$$

☐ Вспомогательные переменные для графиков

☐ Односекционная колонна



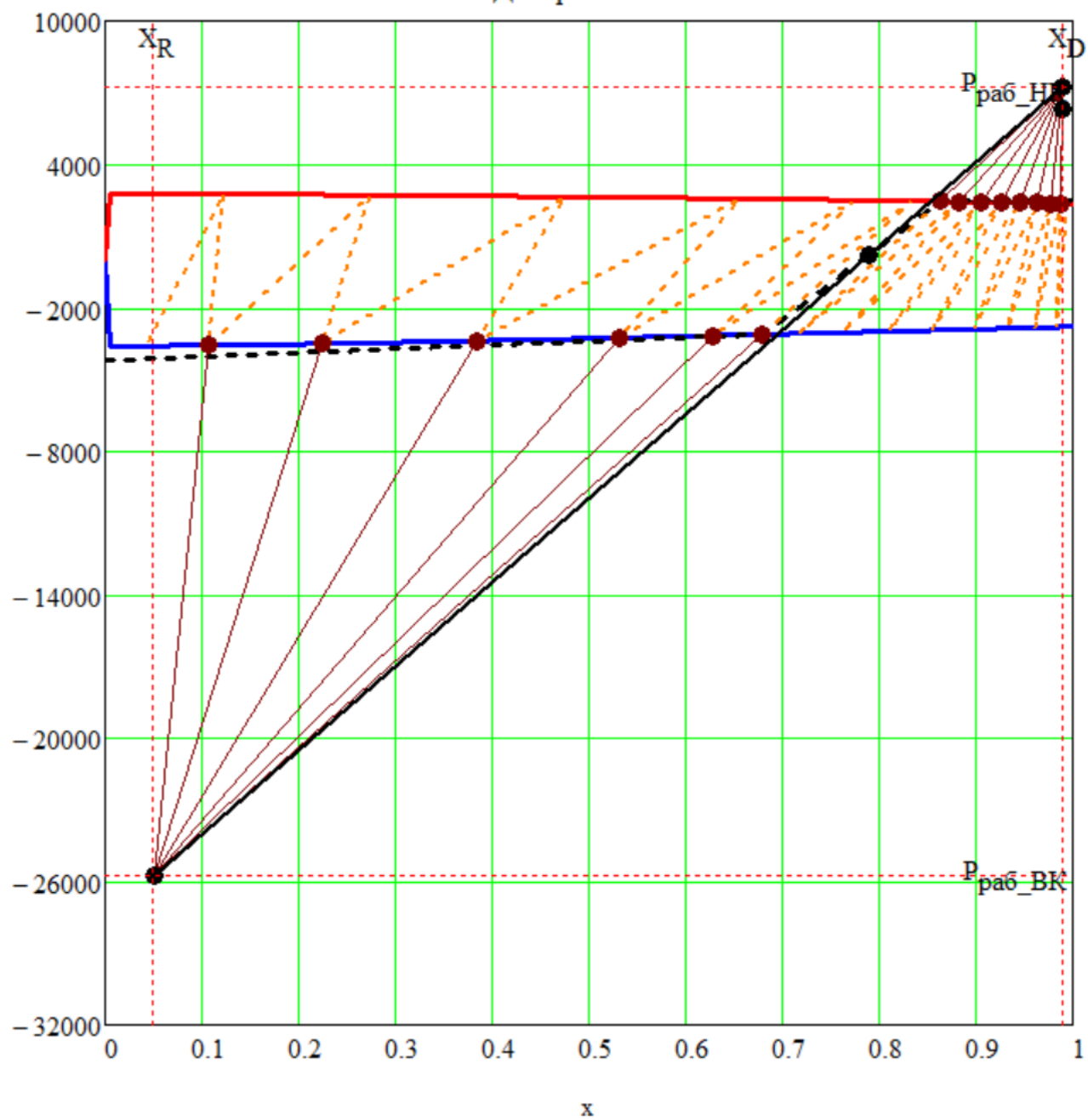
☐ Односекционная колонна

☐ Двухсекционная колонна



Дж/моль

Диаграмма h-x



▲ Двухсекционная колонна

[К содержанию...](#)

## 5.2. Метод Мак-Кеба и Тиле

Заготовка диаграммы для построения тарелок

Пропорции горизонтальные:

$$X_{\text{проп}_\Gamma} := \begin{pmatrix} X_M \\ X_M - y_\Pi \cdot 0.15 \end{pmatrix} \quad Y_{\text{проп}_\Gamma} := \begin{pmatrix} X_M \\ X_M \end{pmatrix}$$

Пропорции вертикальные:

$$X_{\text{проп}_\text{в}} := \begin{pmatrix} X_M \\ X_M \end{pmatrix} \quad Y_{\text{проп}_\text{в}} := \begin{pmatrix} X_M \\ X_M + x_{\text{ж}} \cdot 0.15 \end{pmatrix}$$

Уравнение линии для нахождения рабочей точки:

[Функция line\(\) находится здесь...](#)

$$kb_M := \text{line}(X_M, X_M, X_M - y_\Pi, X_M + x_{\text{ж}})$$

$$y_{\text{ТМ}}(xx) := kb_{M_0} \cdot xx + kb_{M_1}$$

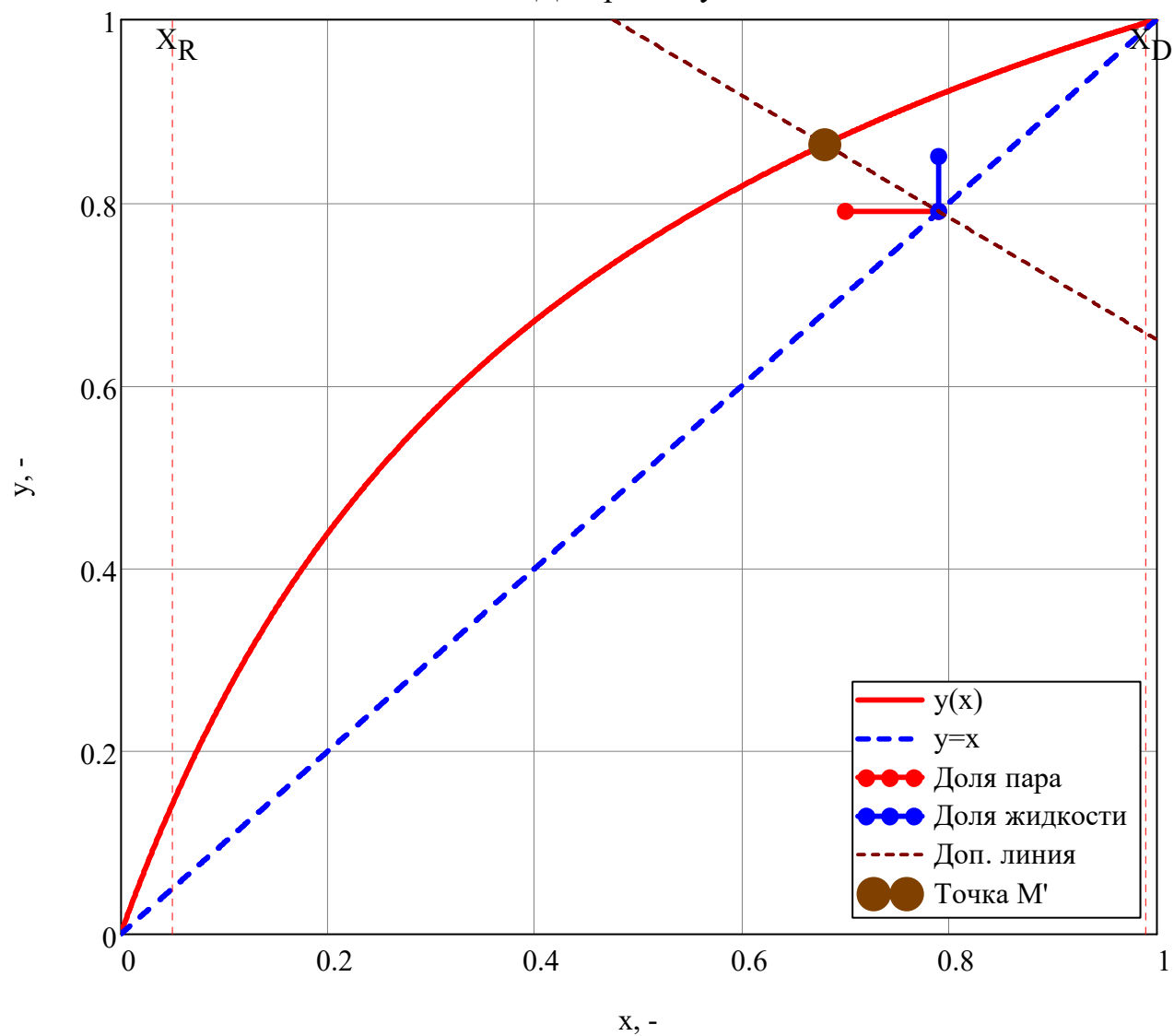
Точка пересечения этой линии и линии равновесных состояний:

$$xxx := 0.5 \quad \text{Given} \quad y(xxx) = y_{\text{ТМ}}(xxx) \quad X_{M'} := \text{Find}(xxx)$$

$$X_{M'} = 0.68 \quad Y_{M'} := y(X_{M'}) = 0.864$$

xx := 0,0001 .. 1

Диаграмма y-x



### 5.2.1. Продукт - высококипящий компонент

К содержанию...

Расчет можно проводить в двух направлениях. 1 - задаться рабочим флегмовым отношением, затем рассчитать коэффициент запаса; 2 - рассчитать его через коэффициент запаса и минимальное значение. В данном случае будет рассмотрен первый вариант, но адаптировать расчет под 2 вариант достаточно просто.

Флегмовое отношение рабочее:

$$f_{\text{раб\_исч}} := f_{\text{раб}} = 1.2$$

Уравнение рабочей линии исчерпывающей секции:

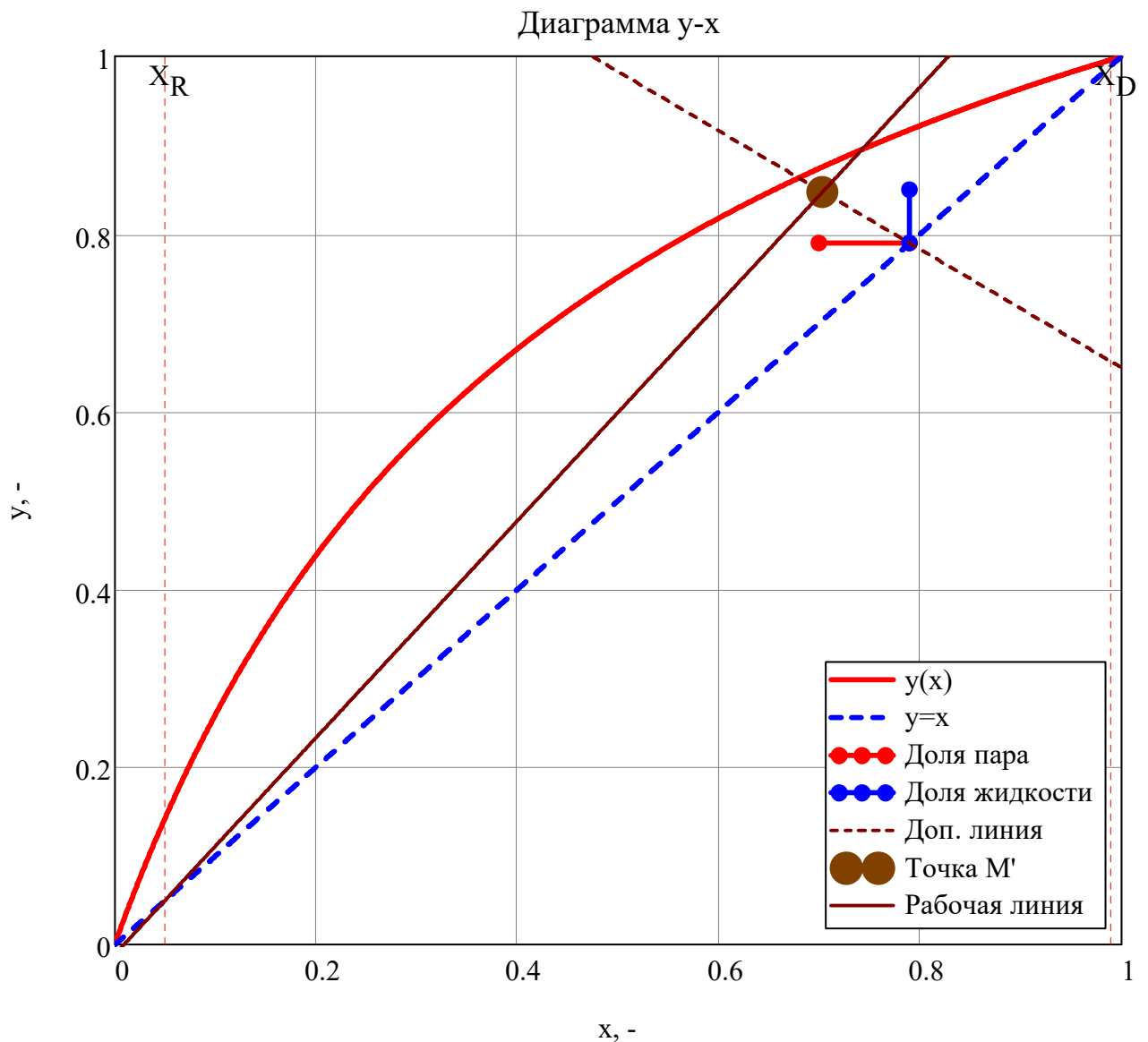
$$b_{\text{к\_исч}} := X_R - f_{\text{раб\_исч}} \cdot X_R$$

$$y_{\text{исч}}(z) := f_{\text{раб\_исч}} \cdot z + b_{\text{к\_исч}}$$

Определим точку пересечения (рабочая точка) рабочей линии и дополнительной линии:

$$xxx := 0.4 \quad \text{Given} \quad y_{\text{TM}}(xxx) = y_{\text{исч}}(xxx)$$

$$X_{\text{M''}} := \text{Find}(xxx) = 0.703 \quad Y_{\text{M''}} := y_{\text{TM}}(X_{\text{M''}}) = 0.848$$



*\* Продолжение расчета для двухсекционной колонны..*

Уравнение рабочей линии концентрационной секции:

$$kb\_исч\_конц := line(X_{M''}, Y_{M''}, X_D, X_D)$$

$$y_{исч\_конц}(z2) := kb\_исч\_конц0 \cdot z2 + kb\_исч\_конц1$$

*Продолжение расчета для двухсекционной колонны... \**

Доля пара во вводимой смеси:

$$y_{II} = 0.6$$

Доля жидкости во вводимой смеси:

$$x_{Ж} = 0.4$$

**Флегмовое отношение**, соответствующее **флегмовому числу** по методу МакКэба и Тиле:

$$kb\_исч := line(X_R, X_R, X_{M''}, Y_{M''})$$

$$f_{раб\_исч\_МкТ} := kb\_исч_0 = 1.2206$$

Флегмовое число по методу МакКэба и Тиле:

$$v_{раб\_исч\_МкТ} := \frac{f_{раб\_исч\_МкТ}}{f_{раб\_исч\_МкТ} - 1} = 5.53229$$

Коэффициент запаса по избытку флегмы:

$$k_{F2\_исч} := \frac{v_{раб\_исч\_МкТ}}{v'_{min}} = 1.25$$

*Это значение должно полностью совпадать с тем запасом, который был заложен для заданного рабочего флегмового отношения!*

Для этого примера совпадать с коэффициентом, заданном в этом выражении ...

### Примечание

1. Для каждой секции выполняется расчет числа тарелок и координат для построения диаграммы. Если расчет проводится для односекционной колонны, то используется только первая часть расчета для каждой колонны;
2. Если в скрытых областях не происходит расчет или происходит с ошибкой, измените приближения в блоке \* Вспомогательные функции \*.

► Часть 1. Построение тарелок исчерпывающей секции

### Результат расчета для исчерпывающей секции

Координаты точек

$$X_{исч\_исч} := Calc\_исч\_исч_0$$

$$Y_{исч\_исч} := Calc\_исч\_исч_1$$

Расчетное число теоретических тарелок концентрационной секции:

$$N_{T\_исч\_исч} := Calc\_исч\_исч_2 = 6$$

Номер последней точки в массиве

$$ni := last(X_{исч\_исч}) = 12$$

Концентрация в точке начала разделения:

$$X_{исч\_M''} := X_{исч\_исч_{ni}} = 0.713$$

Концентрация в точке M'':

$$X_{M''} = 0.70349$$

## Результат расчета для концентрационной секции

Координаты точек

$$X_{\text{исч\_конец}} := \text{Calc\_исч\_конец}_0 \qquad Y_{\text{исч\_конец}} := \text{Calc\_исч\_конец}_1$$

Расчетное число теоретических тарелок концентрационной секции:

$$N_{T\_исч\_конец} := \text{Calc\_исч\_конец}_2 = 7$$

Номер последней точки в массиве

$$ni := \text{last}(X_{\text{исч\_конец}}) = 14$$

Концентрация в точке начала разделения:

$$X_{\text{исч\_конец\_M''}} := X_{\text{исч\_конец}}_{ni} = 0.699$$

Концентрация в точке M'':

$$X_{M''} = 0.70349$$

### Примечание

1. Ниже расположены области с графиками. На графиках отображены результаты расчета для односекционной или двухсекционной колонны.
2. Для красивого представления используются вспомогательные функции и массивы, которые представлены ниже.

► Вспомогательные переменные для графиков

---

► Односекционная колонна

---

► Двухсекционная колонна

---

### 5.2.2. Продукт - низкокипящий компонент

Расчет можно проводить в двух направлениях. 1 - задаться рабочим флегмовым отношением, затем рассчитать коэффициент запаса; 2 - рассчитать его через коэффициент запаса и минимальное значение. В данном случае будет рассмотрен первый вариант, но адаптировать расчет под 2 вариант достаточно просто.

Флегмовое отношение рабочее:

$$f_{\text{раб\_конц}} := f_{\text{раб}} = 0.462$$

Уравнение рабочей линии концентрационной секции:

$$b_{\text{к\_конц}} := X_D - f_{\text{раб\_конц}} \cdot X_D$$

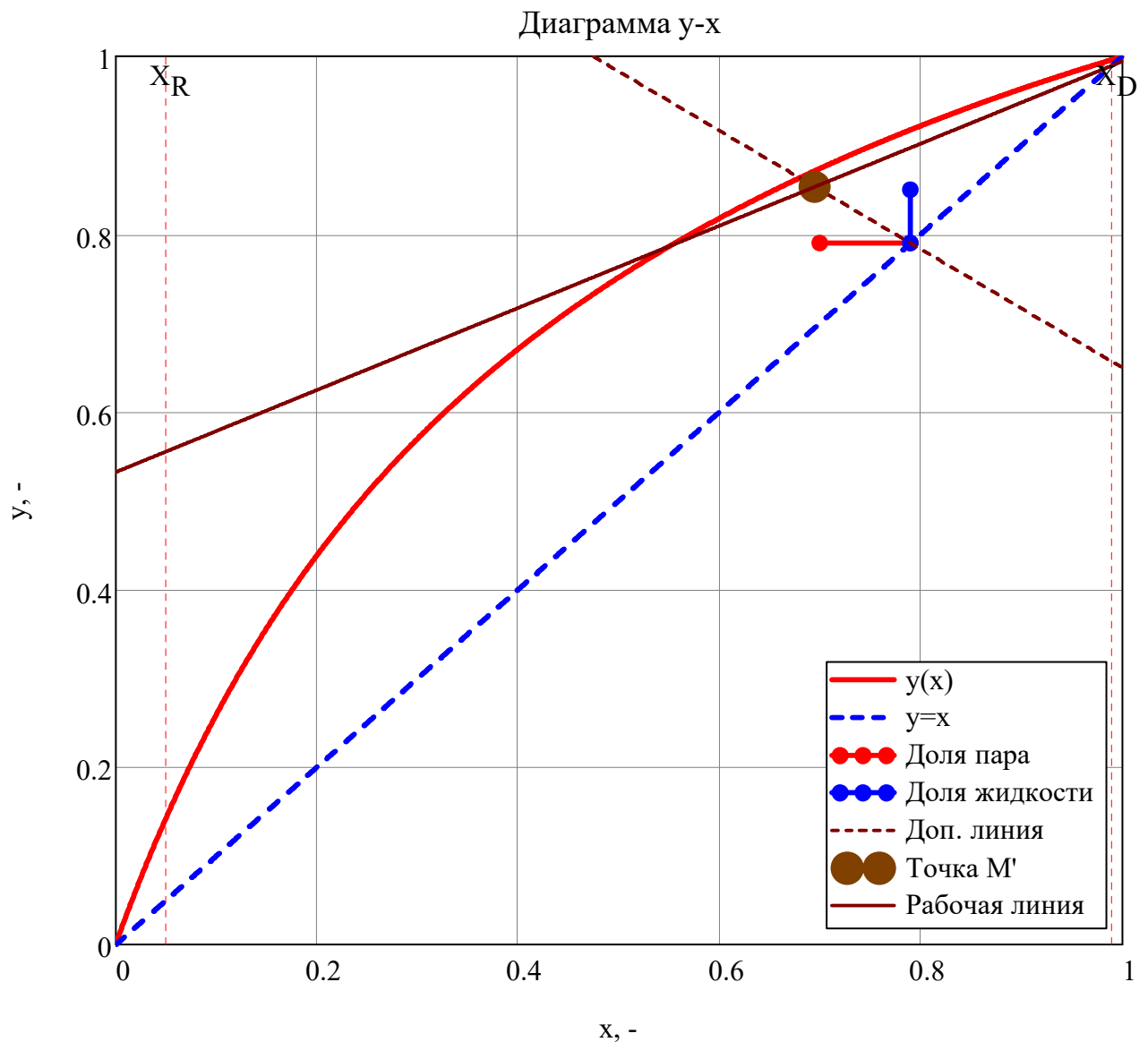
$$y_{\text{конц}}(z) := f_{\text{раб\_конц}} \cdot z + b_{\text{к\_конц}}$$

Определим точку пересечения (рабочая точка) рабочей линии и дополнительной линии:

$$xxx := 0.4 \quad \text{Given} \quad y_{\text{TM}}(xxx) = y_{\text{конц}}(xxx)$$

$$X_{\text{M''}} := \text{Find}(xxx) = 0.695 \quad Y_{\text{M''}} := y_{\text{TM}}(X_{\text{M''}}) = 0.853$$





*\* Продолжение расчета для двухсекционной колонны..*

Уравнение рабочей линии концентрационной секции:

$$kb\_конц\_исч := \text{line}(X_{M''}, Y_{M''}, X_R, X_R)$$

$$y_{конц\_исч}(z2) := kb\_конц\_исч_0 \cdot z2 + kb\_конц\_исч_1$$

*Продолжение расчета для двухсекционной колонны... \**

Доля пара во вводимой смеси:

$$y_{\Pi} = 0.6$$

Доля жидкости во вводимой смеси:

$$x_{ж} = 0.4$$

**Флегмовое отношение**, соответствующее **флегмовому числу** по методу МакКэба и Тиле:

$$kb\_конц := line(X_D, X_D, X_{M''}, Y_{M''})$$

$$f_{раб\_конц\_МкТ} := kb\_конц_0 = 0.4624$$

Флегмовое число по методу МакКэба и Тиле:

$$v_{раб\_конц\_МкТ} := \frac{f_{раб\_конц\_МкТ}}{1 - f_{раб\_конц\_МкТ}} = 0.86008$$

Коэффициент запаса по избытку флегмы:

$$k_{F2\_конц} := \frac{v_{раб\_конц\_МкТ}}{v_{min}} = 1.25$$

*Это значение должно полностью совпадать с тем запасом, который был заложен для заданного рабочего флегмового отношения!*

Для этого примера совпадать с коэффициентом, заданном в этом выражении ...

### Примечание

1. Для каждой секции выполняется расчет числа тарелок и координат для построения диаграммы. Если расчет проводится для односекционной колонны, то используется только первая часть расчета для каждой колонны;
2. Если в скрытых областях не происходит расчет или происходит с ошибкой, измените приближения в блоке \* Вспомогательные функции \*.

► Часть 1. Построение тарелок концентрационной секции

### Результат расчета для концентрационной секции

Координаты точек

$$X_{конц\_конц} := Calc\_конц\_конц_0 \quad Y_{конц\_конц} := Calc\_конц\_конц_1$$

Расчетное число теоретических тарелок концентрационной секции:

$$N_{T\_конц\_конц} := Calc\_конц\_конц_2 = 9$$

Номер последней точки в массиве

$$ni := last(X_{конц\_конц}) = 18$$

Концентрация в точке начала разделения:

$$X_{конц\_конц\_M''} := X_{конц\_конц\_ni} = 0.674$$

Концентрация в точке M'':

$$X_{M''} = 0.69477$$

## Результат расчета для исчерпывающей секции

Координаты точек

$$X_{\text{конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_0$$

$$Y_{\text{конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_1$$

Расчетное число теоретических тарелок концентрационной секции:

$$N_{\text{T\_конц\_исч}} := \text{Calc\_конц\_исч}_2 = 7$$

Номер последней точки в массиве

$$ni := \text{last}(X_{\text{конц\_исч}}) = 14$$

Концентрация в точке начала разделения:

$$X_{\text{конц\_M''}} := X_{\text{конц\_исч}_{ni}} = 0.707$$

Концентрация в точке M'':

$$X_{M''} = 0.69477$$

### Примечание

1. Ниже расположены области с графиками. На графиках отображены результаты расчета для односекционной или двухсекционной колонны.
2. Для красивого представления используются вспомогательные функции и массивы, которые представлены ниже.

► Вспомогательные переменные для графиков

---

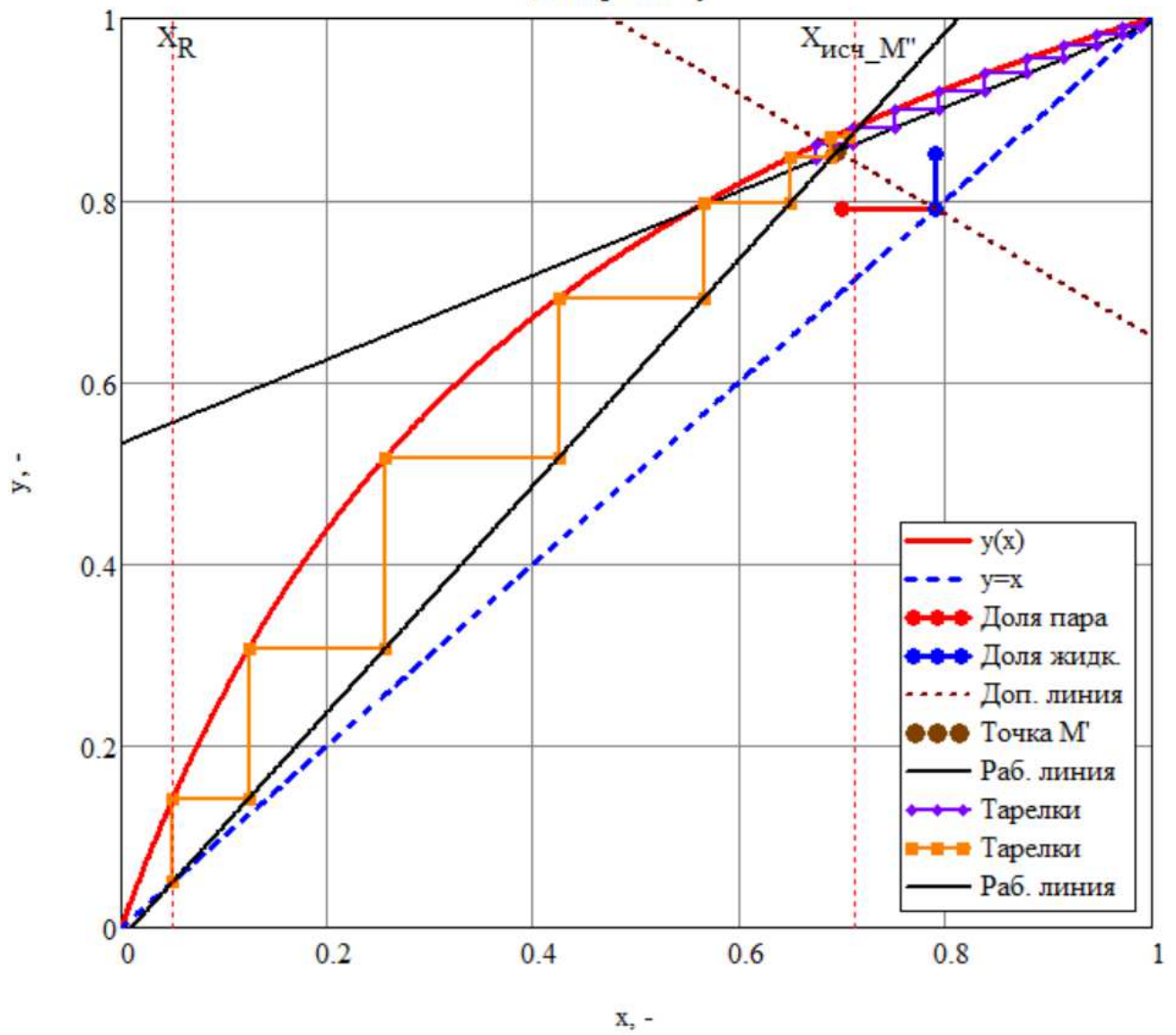
► Односекционная колонна

---

▼ Двухсекционная колонна

---

Диаграмма у-х



▲ Двухсекционная колонна