

# Расчет абсорбера

## Техническое задание:

- 1) Рассчитать насадочный абсорбер (определить высоту и диаметр) для очистки от CO<sub>2</sub> рабочего газа, абсорбент – вода.
- 2) Насадка: керамические кольца Рашига внавал
  - а) 25 мм;
  - б) 50 мм.
- 3) Сравнить высоту слоя насыпки из колец Рашига с высотой при использовании насадки другого типа.

## Исходные данные:

Список компонентов и их концентрация в рабочем газе до очистки:

components :=	"HYDROGEN.FLD"	"H2"	0.6	
	"NITROGEN.FLD"	"N2"	0.2	
	"CO2.FLD"	"CO2"	0.2	>>> абсорбтив
	"WATER.FLD"	"H2O"	1	>>> абсорбент

Инициализация библиотеки свойств:

Число компонентов в очищаемом газе:  $i := \text{rows}(\text{components}) = 4$

$\text{hfld} := \text{hfld\_init}(\text{components})$

$\text{hfld} = \text{"C:\Rfp8\fluids\HYDROGEN.FLD|C:\Rfp8\fluids\NITROGEN.FLD|C:\Rfp8\fluids\CO2.FLD|C:\Rfp8\fluids\WATER.FLD|"}$

$x_{\text{tst}} := x_{\text{init}}(\text{components}) = \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.2 \\ 0.2 \end{pmatrix}$      $x_n := x_{\text{name}}(\text{components}) = \begin{pmatrix} \text{"H2"} \\ \text{"N2"} \\ \text{"CO2"} \end{pmatrix}$      $x_g := x_{\text{gase}}(\text{components}) = \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0 \end{pmatrix}$

$\text{ierr\_SETUP}(i, \text{hfld}, \text{hfm}, \text{hrf}) = 0$

Расчетная схема аппарата:

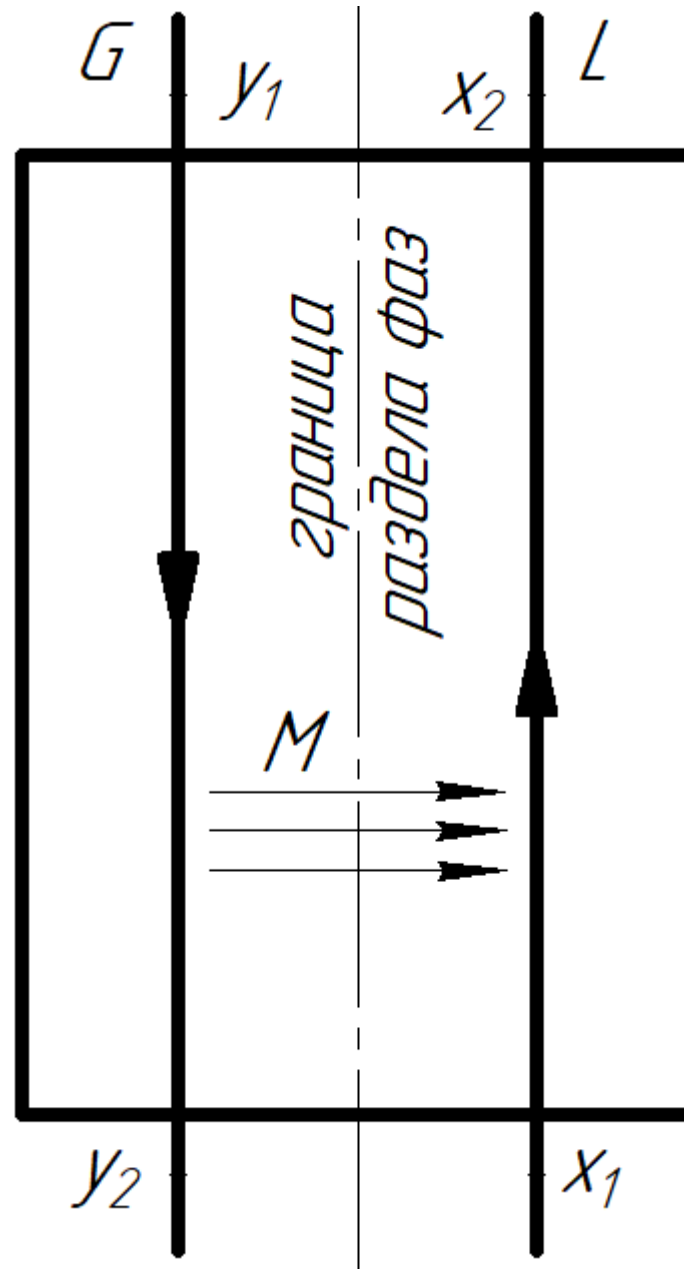


Рисунок 1. Схема потоков в абсорбере

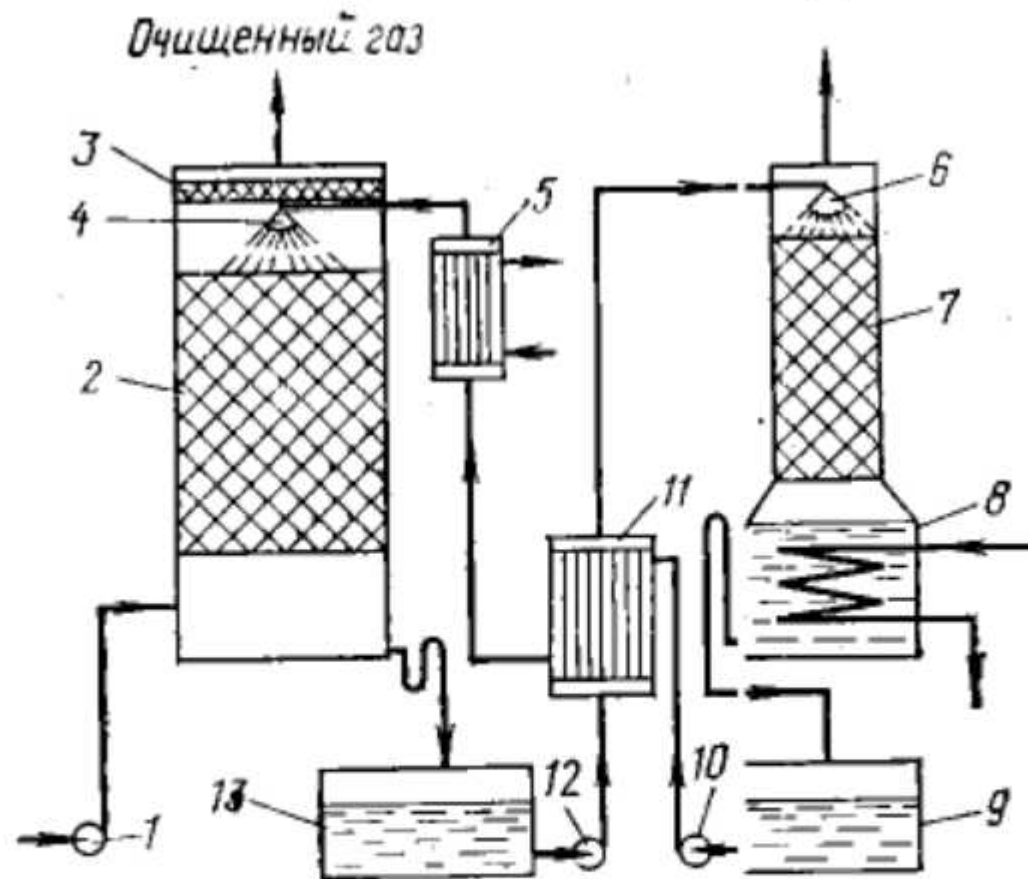


Рис. VI.1. Принципиальная схема абсорбционной установки:  
 1 — вентилятор (газодувка); 2 — абсорбер; 3 — брызгоотбойник; 4, 6 — оросители; 5 — холодильник; 7 — десорбер; 8 — куб десорбера; 9, 13 — емкости для абсорбента; 10, 12 — насосы; 11 — теплообменник-рекуператор.

Рисунок 2. Схема потоков в абсорбционной установке

Начальная объемная (мольная) доля абсорбтива в очищаемом газе:

$$Y_1 := 0.2$$

Конечная объемная (мольная) доля абсорбтива в газе:

$$Y_2 := 0.02$$

Начальная объемная (мольная) относительная доля абсорбата в абсорбенте:

$$x_1 := 0$$

Давление в системе:

$$p := 2 \text{ МПа}$$

Рабочая температура абсорбента:

$$T := 303 \text{ К}$$

Расход очищаемого газа:

$$G_0 := 16000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 4444.4 \cdot \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

Коэффициент минимального удельного расхода (1.2...1.5):

$$k_1 := 1.3$$

Коэффициент скорости захлебывания (0.8...0.85):

$$k_{w0} := 0.8$$

## Расчет

Постоянная Авагадро:

$$k := 22.4 \cdot \frac{\text{л}}{\text{моль}}$$

Мольный расход очищаемого газа:

$$G := \frac{G_0}{k} = 198.413 \cdot \frac{\text{моль}}{\text{с}}$$

Плотности компонентов смеси по условиям процесса (УП),  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ :

$$\rho_{\text{УП}} := \text{getFCell}(T, p, \text{"rho"}) = \begin{pmatrix} \text{"H2"} & 1.58 \\ \text{"N2"} & 22.29 \\ \text{"CO2"} & 38.86 \end{pmatrix}$$

Плотность абсорбента по условиям процесса (УП):

$$\rho_l := \rho_{TPZ}(T, p, X_{sorb}) = 996.54 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Молярные массы компонентов очищаемого газа,  $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ :

$$M_{y\Pi} := \text{getFCell}(T, p, \text{"moleMass"}) = \begin{pmatrix} \text{"H2"} & 2.02 \times 10^{-3} \\ \text{"N2"} & 28.01 \times 10^{-3} \\ \text{"CO2"} & 44.01 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Молярная масса абсорбента,  $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ :

$$M_l := \mu_X(X_{sorb}) = 0.018 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Расчет ведется в относительных молярных или массовых долях, т.е.:

$$y = \frac{Y}{1 - Y}$$

Тогда начальная (1) и конечная (2) относительная молярная концентрация CO<sub>2</sub> в абсорбенте соответственно, моль/моль:

$$y_1 := \frac{Y_1}{1 - Y_1} = 0.25$$

$$y_2 := \frac{Y_2}{1 - Y_2} = 0.02$$

Параметры газовой смеси,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ :

$$\rho_g := \left| \begin{array}{l} \text{result} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1 \dots \text{rows}(\text{components}) - 1 \\ \quad \text{result} \leftarrow \text{result} + x_{\text{tst}_i} \cdot \rho_{\text{УП}_{i,2}} \\ \text{result} \end{array} \right. = 13.18$$

Уравнение материального баланса (по схеме аппарата, рис. 1):

Обозначения:

**L** - мольный расход абсорбента,  $\frac{\text{моль}}{\text{с}}$ ;

**G** - мольный расход очищаемого газа,  $\frac{\text{моль}}{\text{с}}$

**M** - мольный расход абсорбата через границу раздела фаз,  $\frac{\text{моль}}{\text{с}}$

Уравнения:

$$G \cdot y_1 - M = G \cdot y_2$$

$$L \cdot x_1 + M = L \cdot x_2$$

Обозначим удельный расход абсорбента:

$$l' = \frac{L}{G}$$

Уравнение прямых равновесия и рабочей:

Согласно **з-ну Генри** при постоянной температуре парциальное давление  $p'$  растворенного вещества над его предельно разбавленным раствором пропорционально мольной доле этого вещества  $x$  или:

$$p'_{\text{CO}_2} = E \cdot x_{\text{CO}_2} \quad (*)$$

Здесь:

$P'_{CO_2}$  - парциальное давление паров  $CO_2$  над зеркалом жидкости

$x_{CO_2}$  - мольная доля  $CO_2$  в воде

$E$  - константа Генри (определяется по таблице, см. табл.1)

522

Таблица XLI

Значения коэффициента Генри  $E$  для водных растворов некоторых газов (в таблице даны значения  $E \cdot 10^{-6}$  в мм рт. ст.)

Пересчет в СИ: 1 мм рт. ст. = 133,3 Па.

Газ	Температура, °C										
	0	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Азот . . . . .	40,2	45,4	50,8	56,1	61,1	65,7	70,2	79,2	90,9	95,9	95,4
Ацетилен . . . . .	0,55	0,64	0,73	0,82	0,92	1,01	1,11	—	—	—	—
Бром . . . . .	0,0162	0,0209	0,0278	0,0354	0,0451	0,056	0,0688	0,101	0,191	0,307	—
Водород . . . . .	44	46,2	48,3	50,2	51,9	53,7	55,4	57,1	58,1	57,4	56,6
Воздух . . . . .	32,8	37,1	41,7	46,1	50,4	54,7	58,6	66,1	76,5	81,7	81,6
Двуокись угле- рода . . . . .	0,553	0,666	0,792	0,93	1,08	1,24	1,41	1,77	2,59	—	—
Кислород . . . . .	19,3	22,1	24,9	27,7	30,4	33,3	36,1	40,7	47,8	52,2	53,3
Метан . . . . .	17	19,7	22,6	25,6	28,5	31,4	34,1	39,5	47,6	51,8	53,3
Окись углерода	26,7	30	33,6	37,2	40,7	44	47,1	52,9	62,5	64,3	64,3
Сероводород . .	0,203	0,239	0,278	0,321	0,367	0,414	0,463	0,566	0,782	1,03	1,12
Хлор . . . . .	0,204	0,25	0,297	0,346	0,402	0,454	0,502	0,6	0,731	0,73	—
Этан . . . . .	9,55	11,8	14,4	17,2	20	23	26	32,2	42,9	50,2	52,6
Этилен . . . . .	4,19	4,96	5,84	6,8	7,74	8,67	9,62	—	—	—	—

Таблица 1. Значение константы Генри, Па\*моль/моль для различных веществ при различной температуре

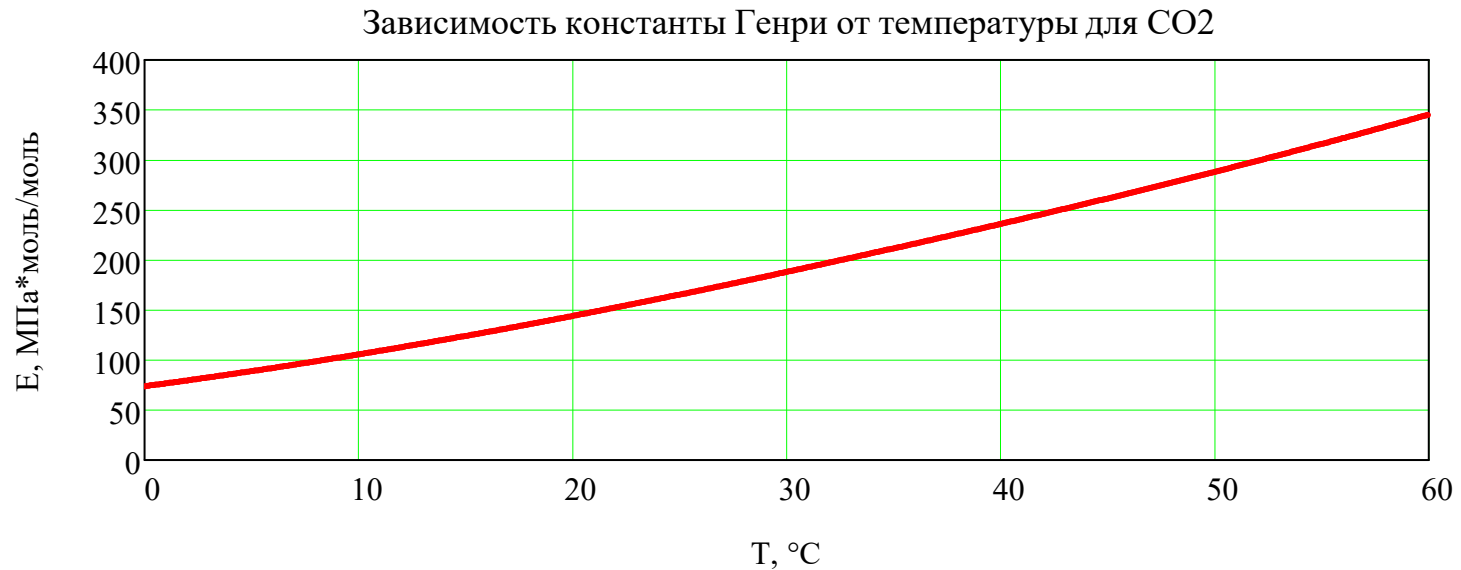
Для  $CO_2$  с учетом коэффициентов в таблице:

$$E_{\text{table}} := (0.553 \ 0.666 \ 0.792 \ 0.93 \ 1.08 \ 1.24 \ 1.41 \ 1.77 \ 2.59)^T$$

$$T_{\text{table}} := (0 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30 \ 40 \ 60)^T$$

$$E\_T' := \text{cspline}(T_{\text{table}}, E_{\text{table}})$$

$$E(T_x) := \text{interp}\left(E\_T', T_{\text{table}}, E_{\text{table}}, \frac{T_x}{K}\right) \cdot 133.3 \text{ МПа}$$



Согласно следствию из закона **Дальтона** (давление смеси газов, химически не взаимодействующих между собой, равно сумме парциальных давлений каждого из компонентов смеси:)

$$p'_{\text{CO}_2} = p \cdot Y'_{\text{CO}_2} \quad (**)$$

Здесь:

$Y'_{\text{CO}_2}$  - доля CO<sub>2</sub> в газе после достижения равновесия

Тогда из (\*) и (\*\*):

$$p \cdot Y'_{\text{CO}_2} = E \cdot x_{\text{CO}_2}$$



$$Y'_{\text{CO}_2} = \frac{E}{p} \cdot x_{\text{CO}_2}$$

Обозначим  $d = \frac{E}{p}$  как коэффициент распределения или константа фазового равновесия, тогда:

$$Y'_{\text{CO}_2} = d \cdot x_{\text{CO}_2}$$

В данном расчете значения:

$$E := E(T - 273.15\text{K}) = 187.3 \cdot \text{МПа}$$

$$d := \frac{E}{p} = 93.6$$

Закон Генри в относительных мольных концентрациях:

$$\frac{y'_{\text{CO}_2}}{1 + y'_{\text{CO}_2}} = d \cdot \frac{x_{\text{CO}_2}}{1 + x_{\text{CO}_2}}$$

или

$$y'_{\text{CO}_2} = d \cdot \frac{x_{\text{CO}_2}}{1 + x_{\text{CO}_2} \cdot (1 - d)} \quad (***)$$

Здесь:

$y'_{\text{CO}_2}$  - относительная мольная концентрация  $\text{CO}_2$  в **газе** после достижения фазового равновесия

$x_{\text{CO}_2}$  - относительная мольная концентрация  $\text{CO}_2$  в **жидкости** после достижения фазового равновесия

Если значение  $x_{\text{CO}_2}$  относительно мало, то знаменатель в уравнении (\*\*\*) можно представить в виде линейной функции:

$$y'_{\text{CO}_2}(x_{\text{CO}_2}) := d \cdot x_{\text{CO}_2}$$

Уравнение рабочей прямой ( $x_1 = 0$ ) - в начальный момент времени в абсорбенте нет CO<sub>2</sub>:

$$y_{\text{CO}_2}(x_{\text{CO}_2}) = l' \cdot x_{\text{CO}_2} + y_2$$

Равновесная доля CO<sub>2</sub> в абсорбенте в конце цикла ( $y'_{\text{CO}_2} = y_1$ )

$$x'_{\text{CO}_2} := \frac{y_1}{d} = 2.67 \times 10^{-3}$$

Минимальный удельный расход абсорбента определяется из условия пересечения равновесной и рабочей прямых в точке  $x'_{\text{CO}_2}$ :

$$l_{\min} := \frac{y_1 - y_2}{x'_{\text{CO}_2}} = 85.99$$

С учетом коэффициента минимального удельного расхода:

$$l' := k_l \cdot l_{\min} = 111.78$$

Конечная концентрация CO<sub>2</sub> в сорбенте (абсорбат) при условии начальной нулевой концентрации:

$$x_2 := \frac{y_1 - y_2}{l'} = 2.05 \times 10^{-3}$$

Концентрация CO<sub>2</sub> в газе после достижения фазового равновесия:

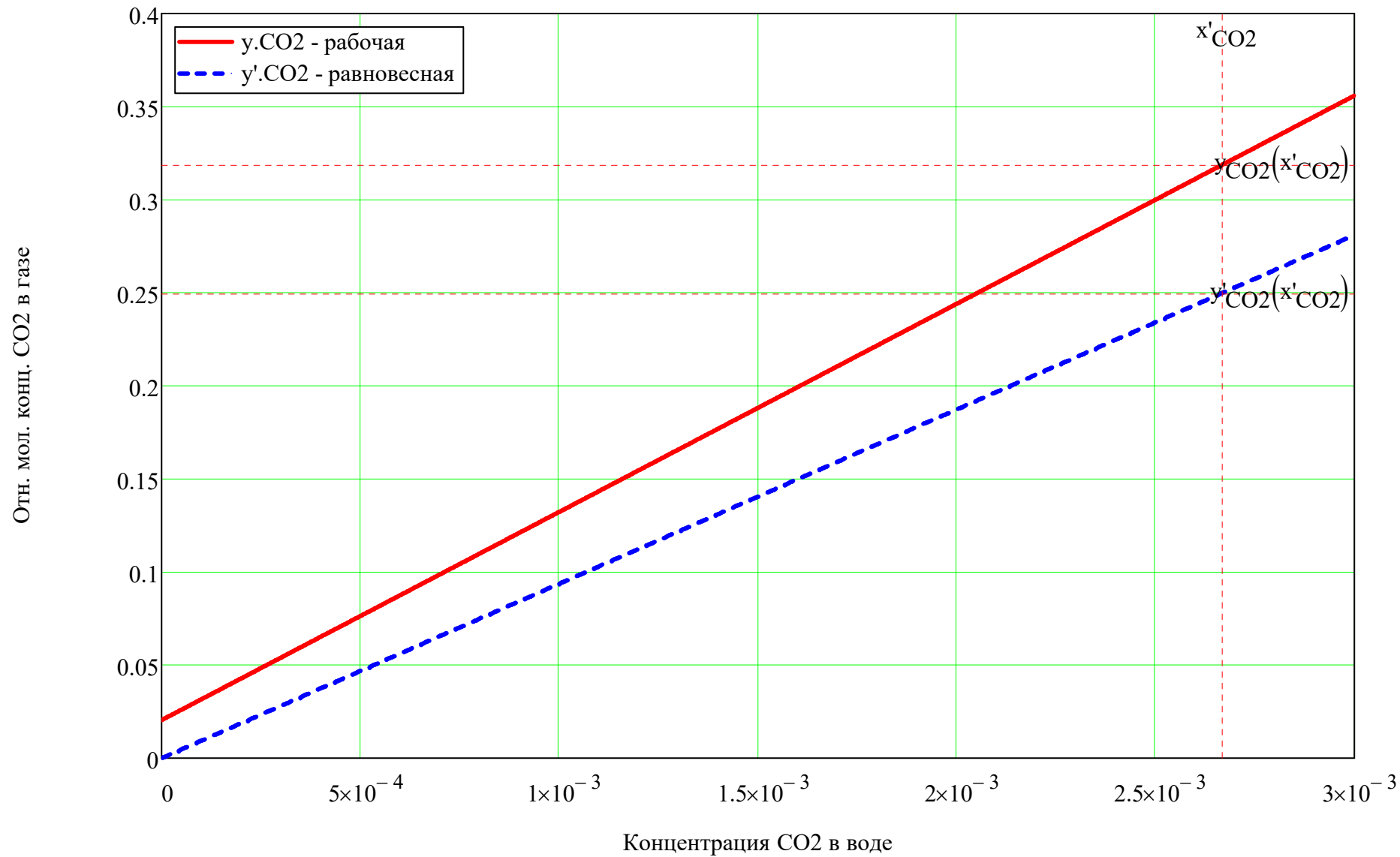
$$y'_{\text{CO}_2}(x_2) = 0.192$$

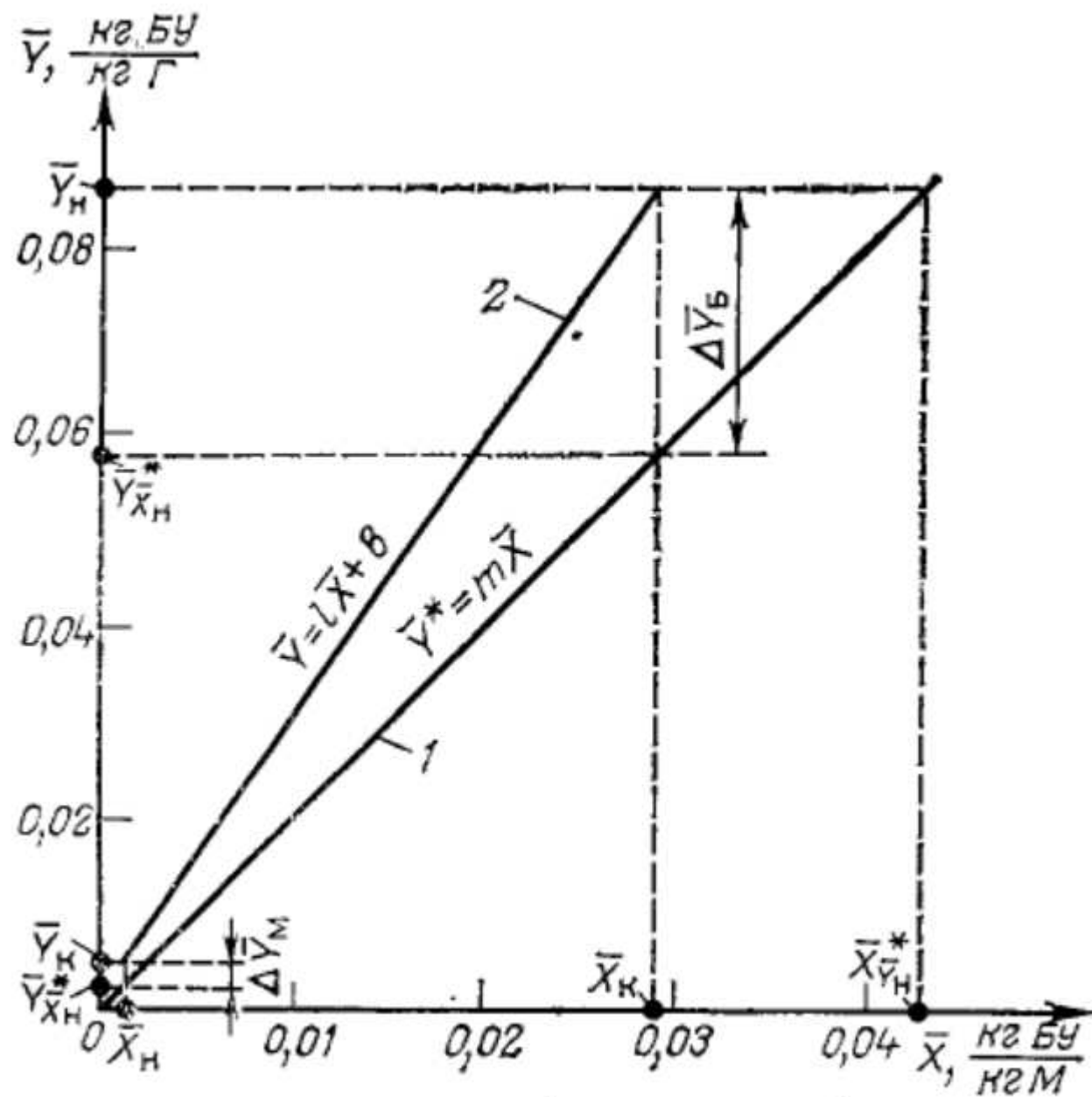
По уравнению рабочей прямой:

$$y_{\text{CO}_2}(x_{\text{CO}_2}) := l' \cdot x_{\text{CO}_2} + y_2$$

$$y_{\text{CO}_2}(x_2) = 0.25$$

Отн. мол. конц. CO<sub>2</sub> в газе после достижения фаз. равнов. от конц. CO<sub>2</sub> в абсорбенте





Определение расходов

$$\begin{aligned}
 & \text{- расход инертного газа (газа-носителя):} & Q &:= G \cdot (1 - y_1) = 148.81 \cdot \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{с}} \\
 & \text{- расход абсорбента:} & L' &:= \frac{(y_1 - y_2) \cdot G}{(x_2 - x_1)} = 2.218 \times 10^4 \cdot \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{с}} \\
 & & L'_m &:= L' \cdot M_1 = 1.4 \times 10^6 \cdot \frac{\text{КГ}}{\text{Ч}} \\
 & & L'_V &:= \frac{L'_m}{\rho_1} = 1.443 \times 10^6 \cdot \frac{\text{Л}}{\text{Ч}}
 \end{aligned}$$

Движущая сила процесса массопередачи:

$$\Delta y_1 := y_2 = 0.02$$

$$y'_{\text{CO}_2} := y'_{\text{CO}_2}(x_2) = 0.192$$

$$\Delta y_2 := y_1 - y'_{\text{CO}_2} = 0.058$$

Средняя движущая сила:

$$\Delta y_{\text{ср}} := \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln\left(\frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}\right)} = 0.036$$

### Расчет скорости газа и диаметра абсорбера

Предельная скорость (скорость захлебывания), м/с:

$$\lg \left[ \frac{w_0^2 \cdot a}{g \cdot \epsilon^3} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_l} \cdot \left( \frac{\mu_l}{\mu_w} \right)^{0.16} \right] = A - B \cdot \left( \frac{L'}{G} \right)^{0.25} \cdot \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.125}$$

Здесь:

$\epsilon$  - свободное сечение насадки, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$\mu_w$  - вязкость абсорбента при 20 гр. Цельсия, Па\*с

$a$  - удельная поверхность насадки,  $\text{м}^2/\text{м}^3$   
 $\rho_g$  - плотность рабочего газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$   
 $\rho_l$  - плотность абсорбента при условиях сорбции,  $\text{кг}/\text{м}^3$

$\mu_l$  - вязкость абсорбента при условиях сорбции,  $\text{Па}\cdot\text{с}$

$g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м}^2/\text{с}$

$A, B$  - коэффициенты, определяются по таблице:

Тип насадки	$A$	$B$
Трубчатая	$0,47 + 1,5 \lg (d_s/0,025)$	1,75
Плоскопараллельная хордовая	0	1,75
Пакетная	0,062	1,55
Кольна Рашига внавал	-0,073	1,75
Кольца Палля	-0,49	1,04
Седла размером 25 мм	-0,33	1,04
Седла размером 50 мм	-0,58	1,04

## Область 1. Параметры насадок



Обозначения в наименовании:

Тип:

$P_{-}$  - регулярная насадка,

$H_{-}$  - неупорядочная насадка,

Материал:

**кер.** - керамическая,

**ст.** - стальная,

Форма:

**к.** - кольца

Насадка :=

P_кер.к.Рашига_50x50x5
P_кер.к.Рашига_80x80x8
P_кер.к.Рашига_100x100x10
H_кер.к.Рашига_25x25x3
H_кер.к.Рашига_50x50x5
H_ст.к.Рашига_25x25x0.8
H_ст.к.Рашига_50x50x1

Коэффициенты:

$$A := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,7} = -0.073 \quad B := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,8} = 1.75$$

Параметры насадки:

Удельная поверхность насадки:

$$a := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,2} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} = 90 \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$$

Свободное сечение насадки:

$$\epsilon := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,3} = 0.785$$

Эквивалентный диаметр:

$$d_9 := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,4} \cdot \text{м} = 0.035 \cdot \text{м}$$

Плотность насадки:

$$\rho_H := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,5} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 530 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Эффективная линейная плотность орошения:

$$q_{\text{eff}} := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,9} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 2.2 \times 10^{-5} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Параметр p:

$$p_H := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,10} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 0.024 \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Параметр q:

$$q_H := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,11} \cdot \text{м} = 0.012 \cdot \text{м}$$

Параметр b:

$$b_H := \text{Data}_{\text{Насадка}+1,12} = 169$$

Вязкость абсорбера при 20 гр. Цельсия:

$$T_{20} := (20 + 273.15) \cdot K = 293.15 K$$

$$\rho_{l20} := \rho_{TPZ}(T_{20}, 1 \text{ бар}, X_{\text{sorb}}) = 998.2 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

? Не выводится верное значение динамической вязкости (REFPROP)

$$\mu_w := 1.002 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad \mu_l := 0.798 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Тогда:  $w_0 := 0.1 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Given

$$\log \left[ \frac{w_0^2 \cdot a}{g \cdot \epsilon^3} \cdot \frac{\rho_g \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{\rho_l} \cdot \left( \frac{\mu_l}{\mu_w} \right)^{0.16} \right] = A - B \cdot \left( \frac{L'}{G} \right)^{0.25} \cdot \left( \frac{\rho_g \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{\rho_l} \right)^{0.125}$$

$$w_0 := \text{Find}(w_0) = 0.041 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

С учетом коэффициента скорости захлебывания:

$$w := k_{w0} \cdot w_0 = 0.033 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Диаметр абсорбера при НУ (20 гр. Цельсия, 1 атм):

$$D' := \sqrt{\frac{4 \cdot G_0 \cdot \left( \frac{T}{293 K} \right) \cdot \left( \frac{1 \text{ атм}}{p} \right)}{\pi \cdot w}} = 2.999 \cdot \text{м}$$

Нормальный ряд размеров (нефтеперерабатывающей промышленности):

$$\text{map} := (1 \quad 1.2 \quad 1.4 \quad 1.6 \quad 1.8 \quad 2 \quad 2.2 \quad 2.4 \quad 2.6 \quad 2.8 \quad 3.0 \quad 3.4 \quad 3.6 \quad 3.8 \quad 4.0 \quad 4.5 \quad 5.0 \quad 5.5 \quad 6.0 \quad 6.4 \quad 7.0 \quad 9.0)^T \cdot \text{м}$$

Тогда:



$$D_r := \text{regularL}(D', \text{map}) = 3 \cdot m$$

Реальная скорость:

$$w_r := w \cdot \left( \frac{D_r}{D'} \right) = 0.033 \cdot \frac{m}{c}$$

Площадь поперечного сечения:

$$F_r := \frac{\pi \cdot D_r^2}{4} = 7.07 \cdot m^2$$

Плотность орошения:

$$U := \frac{L'_m}{\rho_l \cdot F_r} = 0.057 \cdot \frac{m}{c}$$

Скорость орошения:

$$q_l := \frac{U}{a} = 6.302 \cdot \frac{cm^2}{c}$$

Эффективная линейная скорость орошения для выбранной насадки:

$$q_{eff} = 2.2 \times 10^{-5} \cdot \frac{m^2}{c}$$

Минимальная плотность орошения для выбранной насадки:

$$U_{min} := a \cdot q_{eff} = 1.98 \times 10^{-3} \cdot \frac{m}{c}$$

Проверяем условие смачиваемости:

$$U_{min} < U = 1$$

*! В случае недостаточной плотности орошения и неправильной организации подачи жидкости поверхность насадки может быть смочена не полностью, а часть смоченной поверхности практически не участвует в процессе массопередачи, для этого проводится проверка условия, при котором существует некоторая минимальная эффективная плотность орошения  $U_{min}$ , выше которой всю поверхность насадки можно считать смоченной. Поскольку условие*

выполняется, то в данном случае коэффициент смачиваемости насадки равен 1.

Активная площадь насадки:

$$\psi_a := \frac{U \cdot 3600}{a \cdot (p_H + q_H \cdot U \cdot 3600)} = 0.917$$

### Расчет критериев для ГАЗОВОЙ фазы

? Не выводится верное значение динамической вязкости, теплопроводности (REFPROP)

Динамическая вязкость газовой смеси (получить из REFPROP или другого файла с газовой смесью):

$$\mu_g := 1.281 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Па} \cdot \text{с} \quad \rho_g := \rho_g \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Молярная масса газовой смеси:

$$M_g := \mu_x(x_g) = 0.016 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Молярный объем газовой смеси:

$$v_g := \frac{M_g}{\rho_g} = 1.185 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$

Молярная масса абсорбтива:

$$M_{\text{CO}_2} := \mu_x(X_{\text{pure}}(\text{components}, \text{rows}(\text{components}) - 1)) = 0.044 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Плотность абсорбтива:

$$\rho_{\text{CO}_2} := \rho_{\text{TPZ}}(T, p, X_{\text{pure}}(\text{components}, \text{rows}(\text{components}) - 1)) = 38.865 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Мольный объем абсорбтива:

$$v_{\text{CO}_2} := \frac{M_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2}} = 1.132 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$

Число Рейнольдса по газовой смеси:

$$\text{Re}_g := w_r \cdot d_3 \cdot \frac{\rho_g}{\varepsilon \cdot \mu_g} = 1.512 \times 10^3$$

Коэффициент диффузии CO2 в газе:

$$D_g := \frac{\frac{4.3 \cdot 10^{-8} \cdot T^{\frac{3}{2}}}{p \cdot \left( v_{\text{CO}_2}^{\frac{1}{3}} + v_g^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_l} + \frac{1}{M_g}}}{\left( \frac{\frac{\text{с}^2 \cdot \text{К}^{1.5} \cdot \text{моль}^{1.167}}{\frac{10}{3} 10^{-4}}}{\text{м} \cdot \text{моль} \cdot \text{кг}^{1.5}} \right)} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 2.81 \times 10^{-8} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Диффузионный критерий Прандтля:

$$\text{Pr}_{\text{dg}} := \frac{\mu_g}{\rho_g \cdot D_g} = 34.58$$

Диффузионный критерий Нуссельта:

$$\text{Nu}_{\text{dg}} := 0.407 \cdot \text{Re}_g^{0.665} \cdot \text{Pr}_{\text{dg}}^{0.33} = 170.54$$

Тогда коэффициент массоотдачи от газовой смеси:

$$\beta_g := \frac{Nu_{dg}}{d_g} \cdot D_g = 1.369 \times 10^{-4} \cdot \frac{м}{с}$$

### Расчет критериев для ЖИДКОЙ фазы

Молярная масса абсорбента:

$$M_l = 0.018 \cdot \frac{кг}{моль}$$

Коэффициент, учитывающий ассоциацию молекул:

$$\beta := 1$$

Коэффициент диффузии:

$$D_l := 7.4 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{(\beta \cdot M_l)^{0.5} \cdot T}{\mu_l \cdot \nu_{CO_2}^{0.6}} \cdot \frac{м^{0.8} \cdot кг^{0.5}}{(с \cdot K \cdot mol^{0.1})} \cdot \frac{м^2}{с} = 2.208 \times 10^{-8} \cdot \frac{м^2}{с}$$

Диффузионный критерий Прандтля:

$$Pr_{dl} := \frac{\mu_l}{\rho_l \cdot D_l} = 36.26$$

Число Рейнольдса по абсорбенту:

$$Re_l := \frac{4 \cdot U \cdot \rho_l}{a \cdot \mu_l} = 3.148 \times 10^3$$

Диффузионный критерий Нуссельта:

$$Nu_{dl} := 0.0021 \cdot Re_l^{0.75} \cdot Pr_{dl}^{0.5} = 5.31$$

С учетом:

$$Nu_{dl} = \frac{\beta_l \cdot \delta_f}{D_l}$$

где  $\delta_f$  - приведенная толщина стекающей по насадке пленки жидкости:

$$\delta_f := \left( \frac{\mu_l^2}{\rho_l^2 \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}} = 4.029 \times 10^{-5} \cdot m$$

Тогда коэффициент массоотдачи к абсорбенту:

$$\beta_l := \frac{Nu_{dl}}{\delta_f} \cdot D_l = 2.913 \times 10^{-3} \cdot \frac{m}{c}$$

С учетом плотности:

$$\beta_{l'} := \beta_l \cdot \rho_l = 2.903 \cdot \frac{kg}{c \cdot m^2}$$

$$\beta_{g'} := \beta_g \cdot \rho_g = 1.805 \times 10^{-3} \cdot \frac{kg}{c \cdot m^2}$$

Тогда, массовый коэффициент массопередачи:

$$K_g := \frac{1}{\frac{1}{\beta_{g'}} + \frac{1}{\beta_{l'}}} = 1.804 \times 10^{-3} \cdot \frac{kg}{c \cdot m^2}$$

Мольный коэффициент массопередачи:

$$K_{g\_mole} := \frac{K_g}{M_g} = 0.116 \cdot \frac{\text{моль}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

Площадь массопередачи:

$$F_m := \frac{G \cdot (y_1 - y_2)}{K_{g\_mole} \cdot \Delta y_{cp}} = 10991.5 \cdot \text{м}^2$$

Расчетная высота насадки:

$$H_H := \frac{F_m}{0.785 \cdot a \cdot D_r^2 \cdot \psi_a} = 18.9 \cdot \text{м}$$

При большой высоте насадке, особенно при использовании насадки внавал, рекомендуется устанавливать перераспределители жидкости не реже, чем через 6м, тогда:

$$N_{распр} := \text{Round}\left(\frac{H_H}{6\text{м}}, 1\right) = 3$$

Высота перераспределителя:

$$h_{\Pi} := 0.4\text{м}$$

Высота насадочной части колонны:

$$Z := 6\text{м} \cdot \frac{H_H}{6\text{м} - h_{\Pi}} = 20.2 \cdot \text{м}$$

Расстояние до крышки абсорбера:

$$H_B := 0.8 \cdot D_r = 2.4 \cdot \text{м}$$

Расстояние от дна до насадки:

$$H_H := 1.2 \cdot D_r = 3.6 \cdot \text{м}$$

Полная высота абсорбера:

$$H_{\text{абс}} := H_B + Z + H_H = 26.2 \cdot \text{м}$$

Оценка гидравлического сопротивления насадки:

- сопротивление сухого абсорбера:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \lambda \cdot \left( \frac{H}{d_3} \right) \cdot \left( \frac{w_r^2 \cdot \rho_g}{2} \right)$$

Здесь:  $\lambda$  - коэффициент сопротивления, учитывающий суммарные потери давления на трение и местные сопротивления насадки.

$$\lambda := \begin{cases} \frac{140}{\text{Re}_g} & \text{if } \text{Re}_g < 40 \\ \frac{16}{\text{Re}_g^{0.2}} & \text{otherwise} \end{cases} = 3.7$$

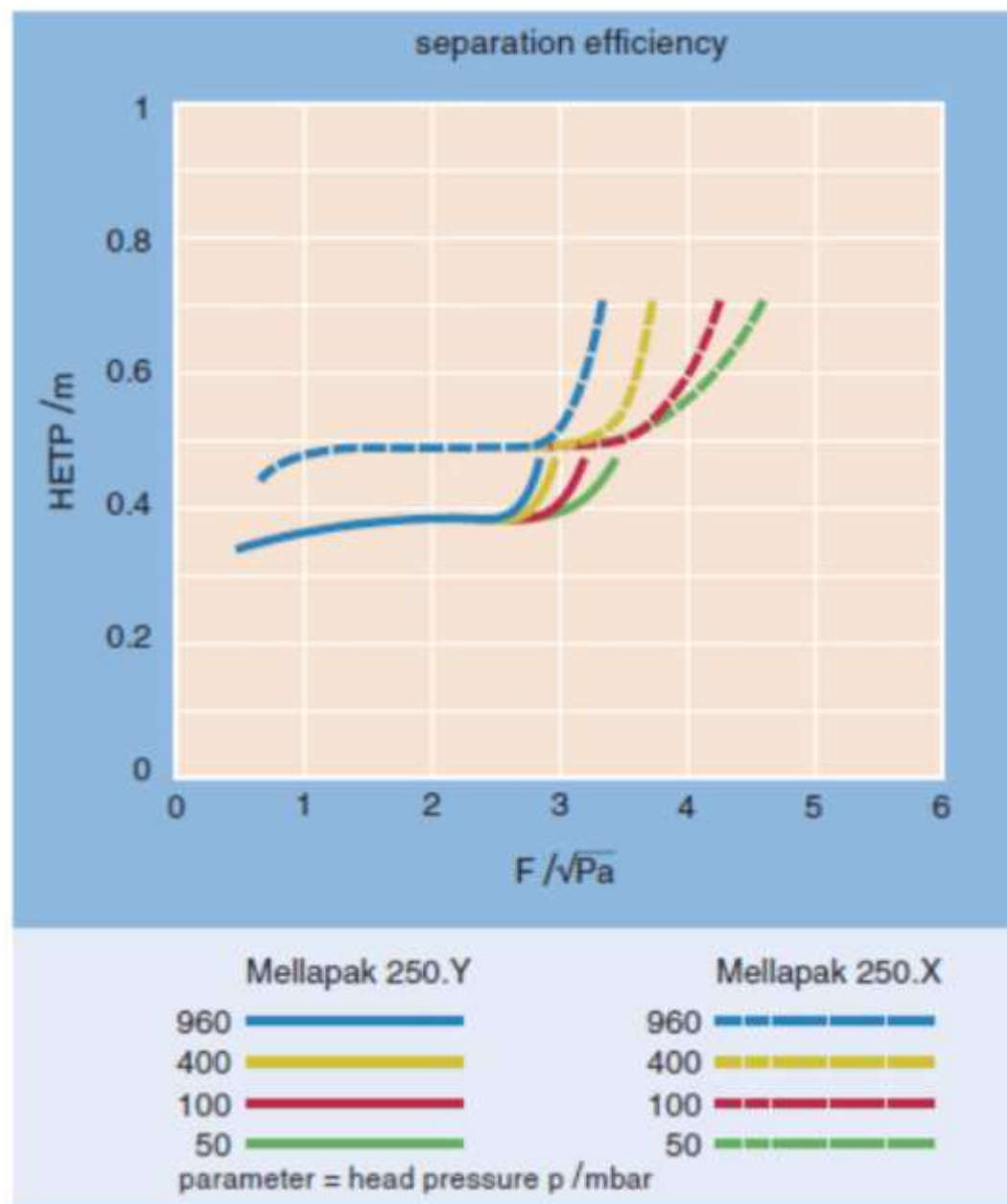
$$\Delta P_{\text{сух}} := \lambda \cdot \left( \frac{Z}{d_3} \right) \cdot \left( \frac{w_r^2 \cdot \rho_g}{2} \right) = 15.3 \cdot \text{Па}$$

- сопротивление орошаемого абсорбера (ориентировочно - требуется уточнение зависимости параметра  $b$  от  $U_{\text{ор}}$ ):

Плотность орошения (?):

$$\Delta P_{\text{ор}} := 10^{\frac{U \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}}{b_H \cdot \frac{\text{м}}{10}}} \cdot \Delta P_{\text{сух}} = 0.14 \cdot \text{кПа}$$

## Альтернативный расчет для насадки Mellapak





Форм-фактор:

$$F_{\text{fact}} := w_r \cdot \sqrt{\rho_g} = 0.12 \frac{\text{kg}^{0.5}}{\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}}$$

$$\frac{F_{\text{fact}}}{\sqrt{\text{Па}}} = 0.12$$

$$n := \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_{\text{cp}}} = 6.399$$

$$H := 0.3 \cdot m \cdot n = 1.92 \cdot m$$

## Список источников

1. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/Под ред. Ю.И. Дытнерского. -М.: Химия, 1983 - 272 с., ил.